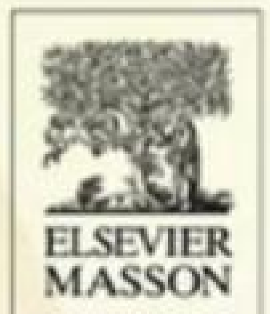
Anne Waugh • Allison Grant

Traduction de la 11e édition originale

Ross et Wilson

ANATOMIE et PHYSIOLOGIE normales et pathologiques

Coordination scientifique de l'édition française :
J. Cosserat



Copyright

Anne Waugh, BSc(Hons) MSc CertEd SRN RNT FHEA, Senior Lecturer and Senior Teaching Fellow, School of Nursing, Midwifery and Social Care, Edinburg Napier University, Édimbourg, Royaume-Uni

Allison Grant, BSc PhD RGN, Lecturer, Department of Biological and Biomedical Sciences, Glasgow Caledonian University, Glasgow, Royaume-Uni

Julie Cosserat, Docteur, service de médecine interne, Institut mutualiste Montsouris, 42, boulevard Jourdan, 75014 Paris, France

L'édition originale, *Ross and Wilson – Anatomy and Physiology in Health and Illness* (ISBN : 978-0-443-10101-4), a été publiée par Churchill Livingstone, une marque d'Elsevier Limited.

Édition originale: ***Ross and Wilson – Anatomy and Physiology in Health and Illness (11th edition)***

Senior Commissioning Editor : Ninette Premdas

Development Editor : Clive Hewat

Table of Contents

Chapitre 1

Introduction au corps humain

Le corps humain est complexe, semblable à une machine

hautement technique et sophistiquée. Il fonctionne comme un tout, mais il est fait d'un certain nombre de systèmes qui agissent en interdépendance. Chaque système est impliqué dans une fonction spécifique essentielle au bien-être de l'individu. La défaillance d'un système peut retentir sur tous les autres, et elle peut ainsi réduire la capacité du corps de fonctionner normalement. L'intégration du travail des systèmes assure la survie. Le corps humain est par conséquent complexe tant dans sa structure que dans ses fonctions, et ce livre vise à expliquer les structures et les processus fondamentaux impliqués.

L'*anatomie* est l'étude de la structure du corps et des relations physiques entre ses systèmes. La *physiologie* est l'étude du fonctionnement des systèmes du corps et de la façon dont leurs activités intrinsèques maintiennent en vie et en bonne santé l'individu. L'*anatomie pathologique* est l'étude des anomalies et de la façon dont elles affectent les fonctions du corps, entraînant souvent une maladie. La dernière section de ce chapitre fournit un cadre pour étudier les maladies, et met en évidence les mécanismes qui entraînent une maladie ainsi que quelques processus pathologiques courants. C'est en se fondant sur l'anatomie et sur la physiologie que des maladies seront envisagées à la fin des chapitres qui suivent.

Niveaux de complexité structurale

Objectif pédagogique

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

■ de décrire les niveaux de complexité structurale dans le corps.

Le corps présente différents niveaux d'organisation structurale et de complexité. Le niveau le plus fondamental est chimique. Des *atomes* se combinent pour former des *molécules*, dont il existe dans le corps une grande diversité. Les structures, les propriétés et les fonctions des molécules biologiques importantes sont vues dans le chapitre 2. Les *cellules* sont les plus petites unités indépendantes de matière vivante et le corps en possède des millions. Elles sont trop petites pour être vues à l'œil nu, mais le microscope permet, en les agrandissant, d'en distinguer divers types sur leur taille, leur forme et les colorants qu'elles absorbent lors de leur étude au laboratoire. Chaque type cellulaire est devenu *spécialisé*, et il possède une fonction particulière contribuant aux besoins du corps. La figure 1.1 montre des cellules nerveuses à très fort grossissement. Dans les organismes complexes tels que le corps humain, des cellules ayant une structure et des fonctions semblables sont réunies, formant des *tissus*. La

structure et les fonctions des cellules et des tissus sont explorées dans le chapitre 3.



Figure 1.1 Microscopie à balayage électronique en couleur de quelques cellules nerveuses (neurones).

Les *organes* sont faits d'un certain nombre de tissus différents, et ils ont une fonction spécifique. La figure 1.2 montre que l'estomac est tapissé par une couche de tissu épithélial, et que sa paroi contient des couches de tissu musculaire lisse. Ces deux tissus contribuent au

fonctionnement de l'estomac, mais de manières différentes.

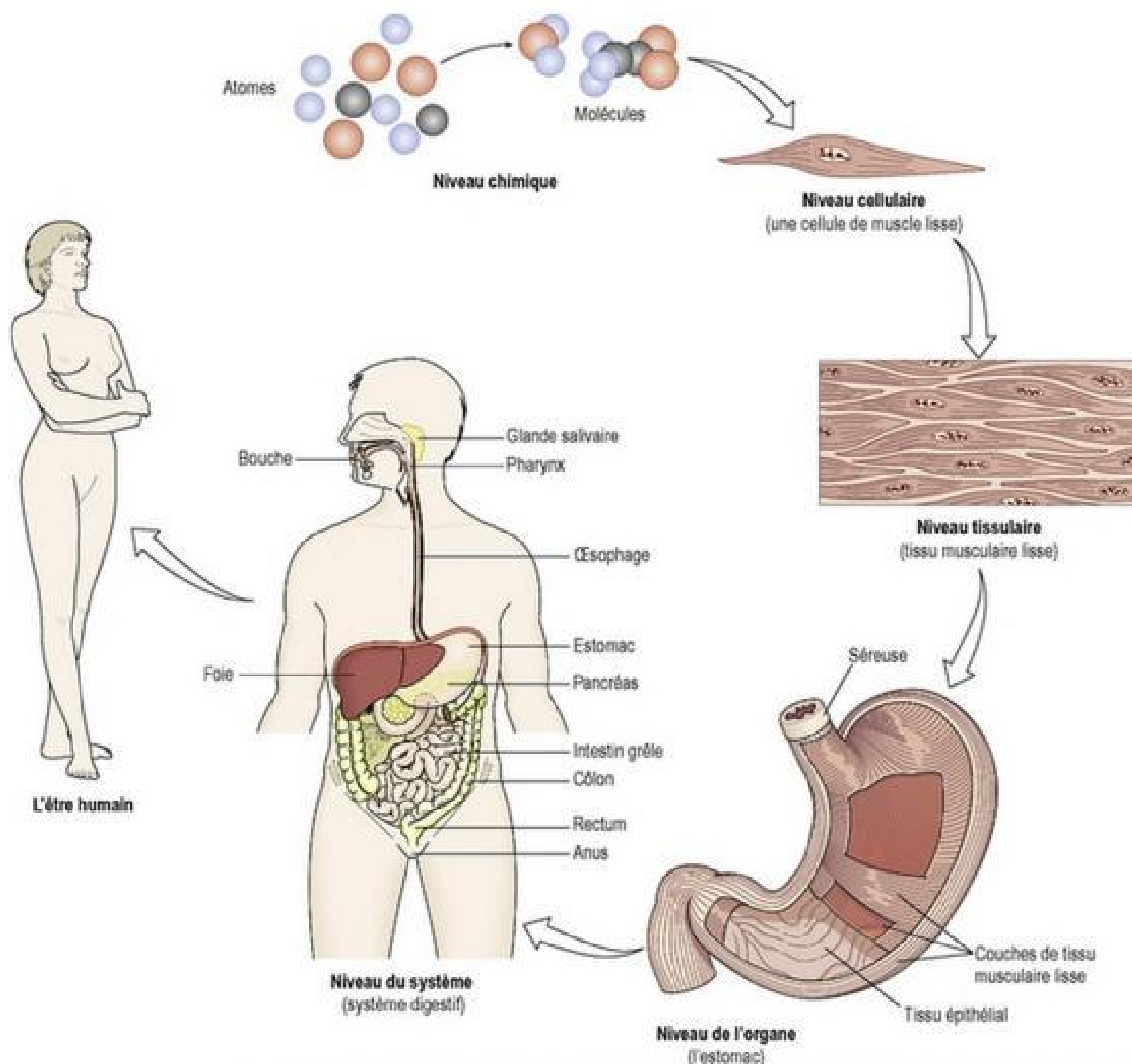


Figure 1.2 Les niveaux de complexité structurale.

Les *systèmes* sont constitués par des organes et des tissus qui assument ensemble un ou plusieurs besoins vitaux du corps. Par exemple, l'estomac est l'un des organes du système digestif, et il a sa propre fonction spécifique. Le corps humain a plusieurs systèmes, qui travaillent de façon

interdépendante pour assumer des fonctions spécifiques. Tous sont nécessaires à la santé. La structure et les fonctions des systèmes corporels sont étudiées dans les chapitres suivants.

Environnement interne et homéostasie

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

■de définir les termes « environnement interne » et « homéostasie » ;

■de comparer et d'opposer les mécanismes de contrôle que sont les rétroactions négative et positive ;

■d'indiquer les conséquences possibles d'un déséquilibre homéostasique.

L'*environnement externe*entoure le corps, et il constitue la source de l'oxygène ainsi que des nutriments nécessaires à toutes les cellules du corps. Les déchets de l'activité cellulaire sont finalement excrétés dans l'environnement externe. La peau fournit une barrière entre l'environnement externe sec (atmosphère) et l'environnement aqueux de la plupart des cellules corporelles.

L'*environnement interne* est le milieu aqueux dans lequel sont les cellules corporelles. Les cellules baignent dans un liquide appelé *liquide interstitiel.* L'oxygène et les autres substances qui leur sont nécessaires doivent, depuis les systèmes de transport internes, passer par le liquide interstitiel pour les atteindre. De même, les déchets produits par les cellules doivent passer par le liquide interstitiel pour atteindre les systèmes de transport, puis être excrétés.

Chaque cellule est enfermée dans sa *membrane plasmique*, qui constitue une barrière potentielle aux substances entrant dans la cellule ou en sortant. La structure de la membrane (p. 30) lui confère certaines propriétés, en particulier une *perméabilité sélective* ou une *semi-perméabilité sélective.* Cela contrôle le mouvement des grosses molécules à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule, et permet à celle-ci de réguler sa composition interne (Fig. 1.3). Les particules plus petites peuvent habituellement traverser la membrane, certaines bien plus facilement que d'autres, et de ce fait la composition chimique du liquide à l'intérieur de la cellule est différente de celle du liquide à l'extérieur de celle-ci.

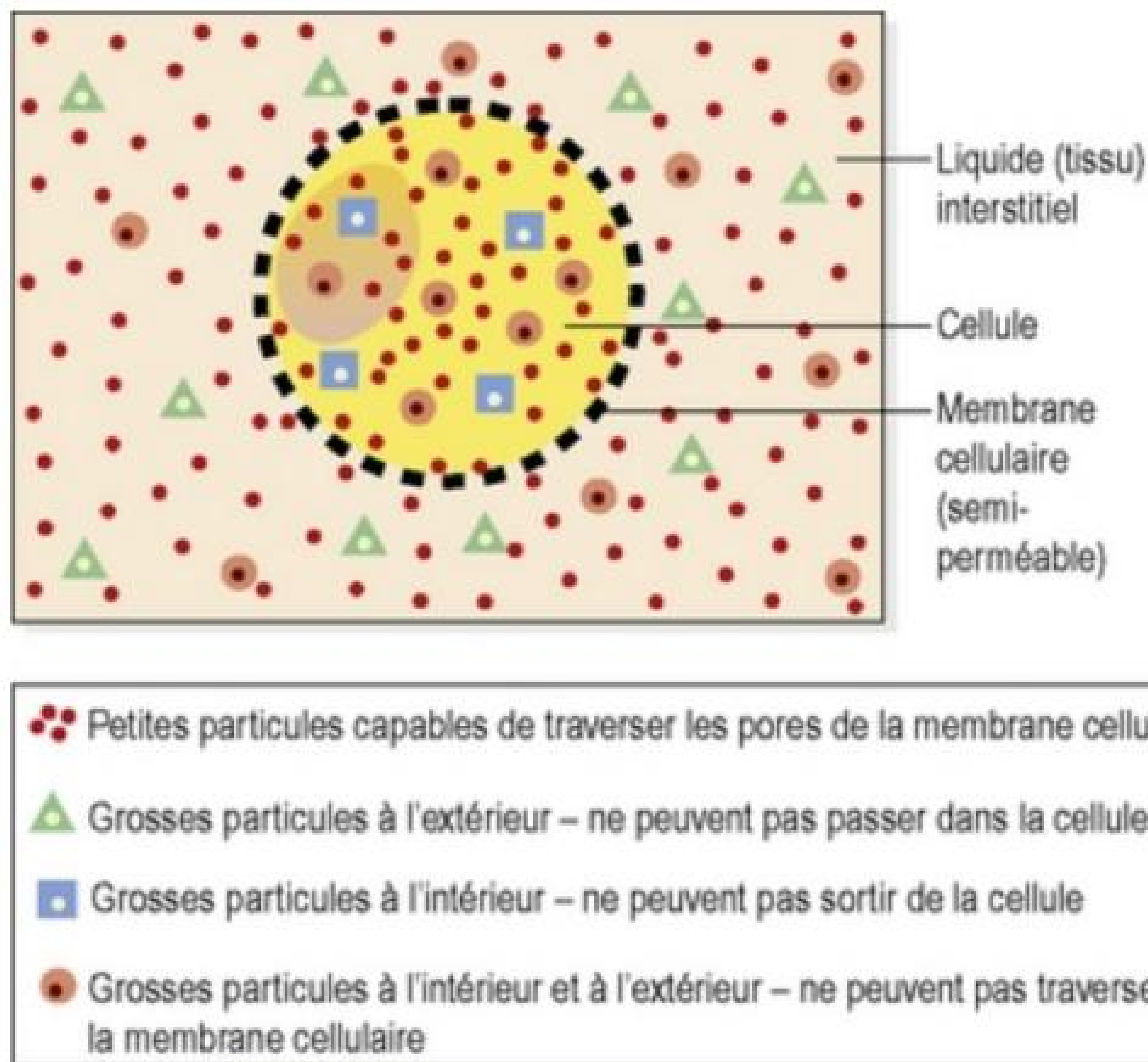


Figure 1.3 Schéma d'une cellule avec membrane semi-perméable.

Homéostasie

La composition de l'environnement interne est étroitement contrôlée, et cet état à peu près constant est appelé *homéostasie*. Littéralement, ce terme signifie « ne changeant pas », mais en pratique il désigne une situation dynamique, constamment changeante, maintenue dans des limites étroites. Quand cet équilibre est menacé ou perdu, le bien-être de l'individu court un risque sérieux. L'encadré 1.1 énumère certaines des variables physiologiques

importantes maintenues dans d'étroites limites par les mécanismes de contrôle homéostasique.

Encadré 1.1 Exemples de variables physiologiques

Température centrale

Eau et concentration des électrolytes

pH (acidité ou alcalinité) des liquides corporels

Taux de glucose sanguin

Concentration de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans le sang et les tissus

Pression artérielle

L'homéostasie est maintenue par des systèmes de contrôle qui détectent les modifications dans l'environnement interne, et qui y répondent. Un système de contrôle (Fig. 1.4) a trois composants de base : un détecteur, un centre de contrôle et un effecteur. Le *centre de contrôle* détermine les limites dans lesquelles le facteur variable doit être maintenu. Il reçoit l'information venant du *détecteur* ou capteur, et il l'intègre. Quand le signal entrant indique la nécessité d'un ajustement, le centre de contrôle répond en modifiant le signal qu'il envoie à l'*effecteur*. C'est là un processus dynamique, qui favorise le réajustement constant de nombreuses variables

physiologiques.

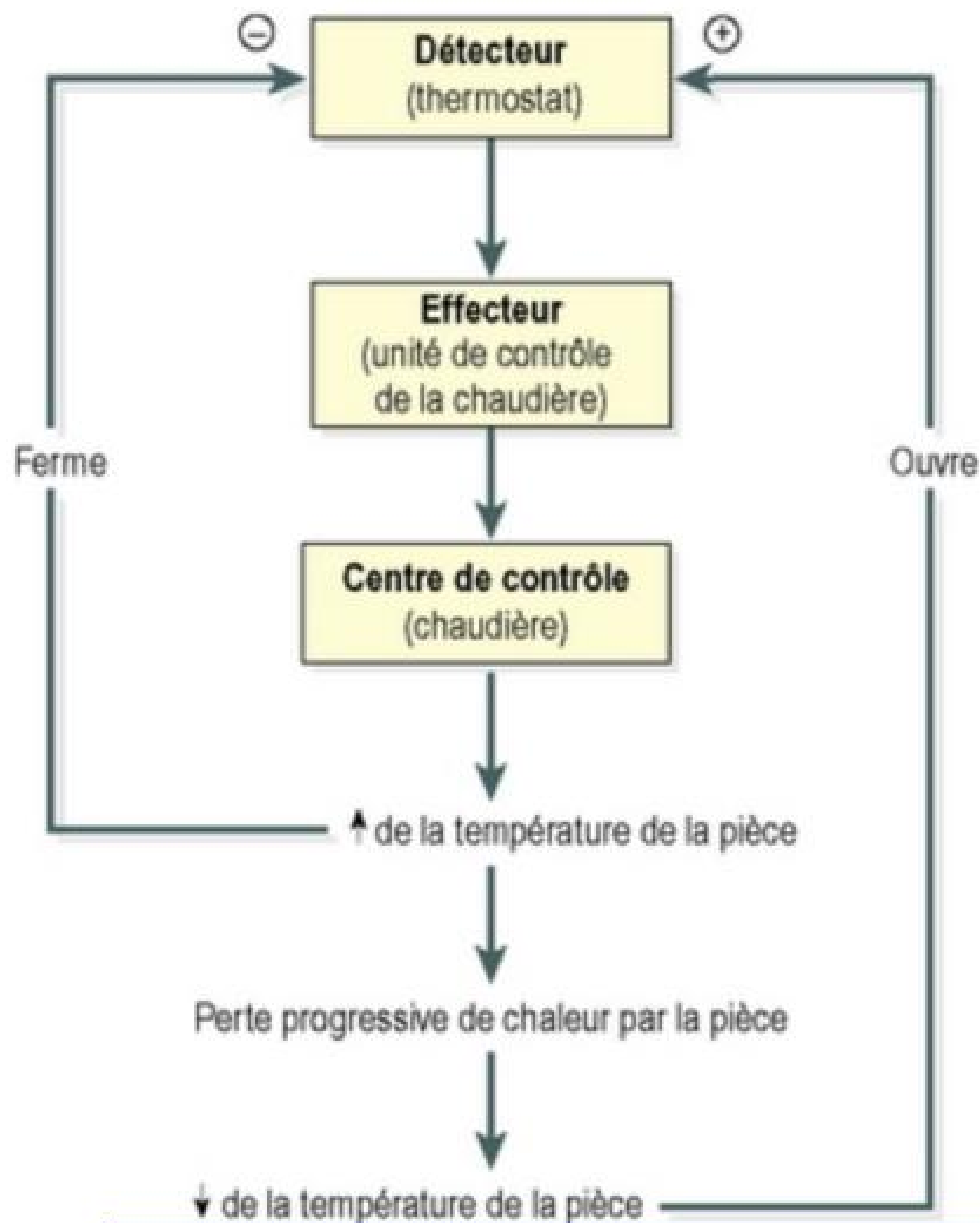


Figure 1.4 Exemple de mécanisme de rétroaction négative : contrôle de la température d'une pièce d'habitation par une chaudière domestique.

Mécanismes de rétroaction négative

Dans les systèmes contrôlés par une rétroaction négative, la réponse de l'effecteur diminue ou annule l'effet du

stimulus d'origine, maintenant ou restaurant l'homéostasie (d'où l'appellation rétroaction négative). Le contrôle de la température corporelle est semblable à celui du chauffage central domestique. Dans ce dernier, le thermostat (détecteur de température) est sensible aux modifications de la température de la pièce d'habitation (facteur variable). Le thermostat est relié à l'unité de contrôle de la chaudière (centre de contrôle). Le thermostat compare constamment l'information fournie par le détecteur à la température désirée préréglée et, si besoin, des ajustements sont faits pour modifier la température de la pièce. Quand le thermostat détecte que la température ambiante est basse, la chaudière se met en marche. Il en résulte une émission de chaleur par la chaudière, réchauffant la pièce. Quand la température préréglée est atteinte, le système est inversé. Le thermostat détecte la température de la pièce plus élevée que celle désirée, et la chaudière s'arrête. L'émission de chaleur par la chaudière est stoppée, et la pièce se refroidit lentement car de la chaleur est perdue. Cette série d'événements constitue un mécanisme de rétroaction négative, et elle permet une autorégulation continue, ou le maintien, d'un facteur variable dans d'étroites limites.

La température corporelle est une variable physiologique contrôlée par une rétroaction négative (Fig. 1.5) qui évite

que les problèmes qu'elle engendre ne deviennent plus ou moins marqués. Quand la température corporelle tombe au-dessous du niveau préréglé, cela est détecté par des terminaisons nerveuses spécialisées sensibles à la température situées dans l'hypothalamus du cerveau, qui constitue le centre de contrôle. Ce centre active ensuite les mécanismes élevant la température du corps (effecteurs). Ces derniers comprennent :

• la stimulation des muscles squelettiques responsables du frissonnement ;

• le rétrécissement des vaisseaux sanguins de la peau (vasoconstriction cutanée), réduisant le flux sanguin périphérique et, de ce fait, la perte de chaleur par la peau ;

• des modifications comportementales ; par exemple, nous mettons plus de vêtements ou nous nous recroquevillons.

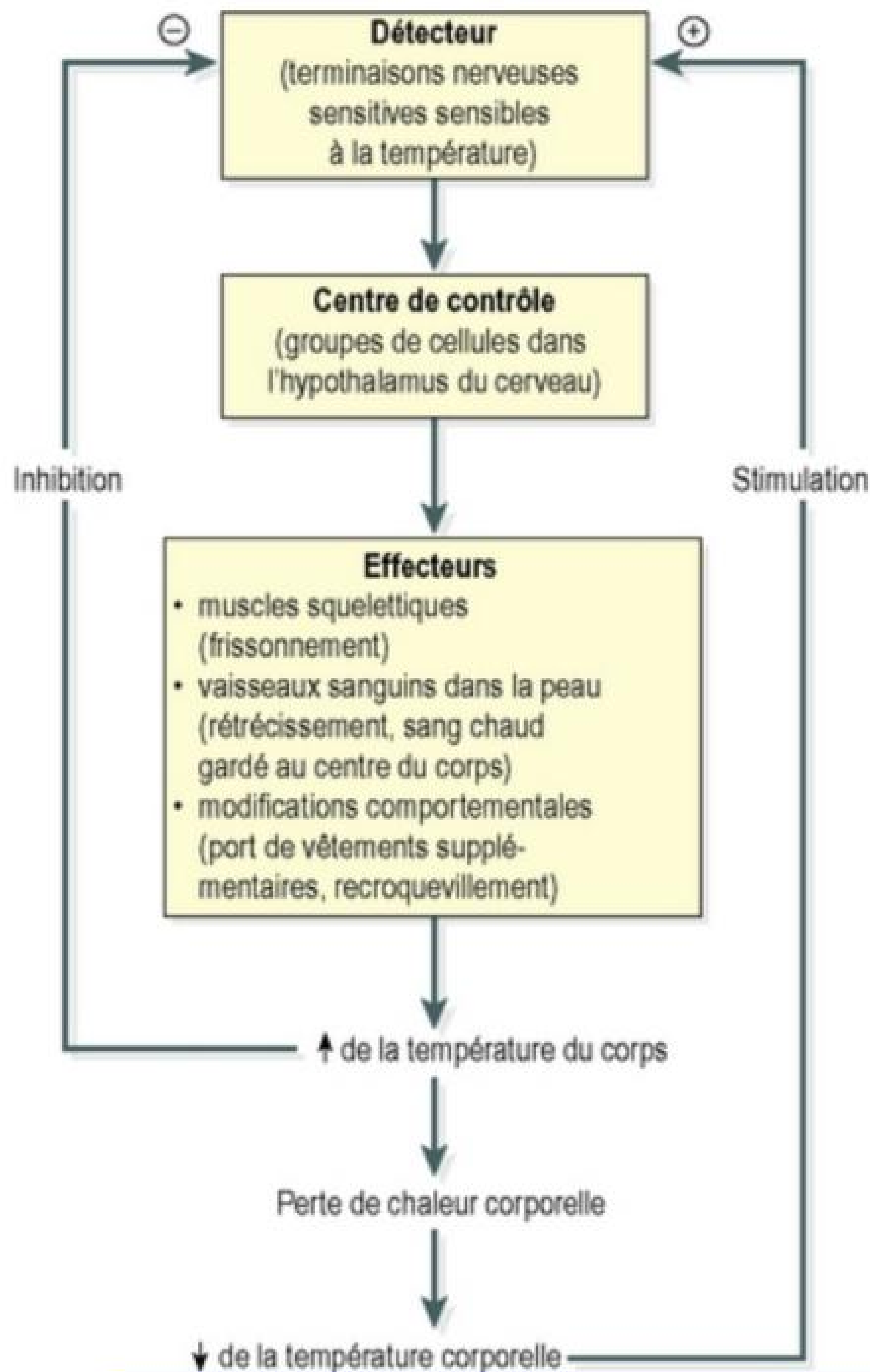


Figure 1.5 Exemple d'un mécanisme de rétroaction négative : contrôle de la température du corps.

Quand la température corporelle atteint de nouveau les

limites de la normale, les terminaisons nerveuses sensibles à la température ne sont plus stimulées et leurs signaux à l'hypothalamus cessent. De ce fait, les tremblements prennent fin, et le débit sanguin périphérique redevient normal.

La plupart des contrôles homéostasiques corporels utilisent des mécanismes de rétroaction négative pour prévenir des modifications soudaines et sérieuses dans l'environnement interne. Beaucoup seront expliqués dans les chapitres suivants.

Mécanismes de rétroaction positive

Les corps n'a que peu de *systèmes en cascade* ou *amplificateurs*. Dans les mécanismes de rétroaction positive, le stimulus augmente progressivement la réponse et, tant que le stimulus persiste, la réponse est progressivement amplifiée. La coagulation du sang et les contractions utérines durant le travail en sont des exemples.

Pendant le travail, les contractions de l'utérus sont stimulées par une hormone, l'*ocytocine*. Elles poussent la tête du bébé dans le col de l'utérus, ce qui stimule les récepteurs sensibles à l'étirement présents à ce niveau. En réponse à cela, plus d'ocytocine est libérée, ce qui renforce les contractions et maintient le travail. Après la naissance du bébé, le stimulus (l'étirement des fibres musculaires du

col) n’est plus présent, si bien que la libération d’ocytocine s’arrête (voir Fig. 9.5, p. 229).

Déséquilibre homéostasique

Cela se produit quand le contrôle fin d’un facteur dans l’environnement interne est inadéquat, le niveau du facteur sortant de ce fait des limites de la normale. Si le système de contrôle ne peut pas maintenir l’homéostasie, un état anormal se développe, susceptible de menacer la santé, ou même la vie. Beaucoup de ces situations, y compris les effets des anomalies des variables indiquées dans l’encadré 1.1, sont expliquées dans les chapitres suivants.

Besoins corporels pour la survie

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- de décrire le rôle des systèmes de transport corporels ;
- d’indiquer les rôles des systèmes nerveux et endocrinien dans la communication interne ;
- d’indiquer comment les matériels bruts sont absorbés par le corps ;
- d’établir quels sont les matériels de déchet éliminés du corps

;

■d'indiquer les activités entreprises pour la protection et la survie.

Par convention, les systèmes corporels sont décrits séparément lors de l'étude de l'anatomie et de la physiologie, mais en réalité ils fonctionnent en interdépendance. Cette section fournit une introduction aux activités du corps en fonction des besoins vitaux (Tableau 1.1). Les chapitres ultérieurs s'inscrivent dans ce cadre, explorant la structure et les fonctions humaines chez le sujet sain et le sujet malade en utilisant une approche par systèmes.

Tableau 1.1 Besoins vitaux et activités corporelles en rapport

Besoin vital	Activités corporelles
Communication	Systèmes de transport : sang, système circulatoire, système lymphatique Communication interne : système nerveux, système endocrinien Communication externe : organes des sens, communication verbale et non verbale

Prise de matériaux bruts et élimination des déchets	Prise d'oxygène Prise d'aliments Élimination des déchets : dioxyde de carbone, urine, fèces
Protection et survie	Protection contre l'environnement externe : peau Résistance et immunité : mécanismes de défense non spécifiques et spécifiques Mouvements corporels Transmission de caractéristiques héréditaires Reproduction

Communication

Le transport et la communication sont envisagés dans cette section. Les systèmes de transport permettent à toutes les cellules d'avoir accès aux environnements interne et externe ; le sang, le système circulatoire et le système lymphatique sont impliqués.

Tous les systèmes de communication comprennent le recueil, le rassemblement et la réponse à une information

appropriée. Il y a différents systèmes de communication avec les environnements interne et externe. La communication interne implique principalement les systèmes nerveux et endocrinien ; ceux-ci sont importants dans le maintien de l'homéostasie et dans la régulation des fonctions corporelles vitales. La communication avec l'environnement externe implique les sens spéciaux, et des activités verbales et non verbales, qui tous dépendent du système nerveux.

Systèmes de transport

Sang (Ch. 4)

Le sang transporte des substances dans tout le corps par l'intermédiaire d'un vaste réseau de vaisseaux sanguins. Chez l'adulte, le corps contient 5 à 6 litres de sang. Il est fait de deux parties : un liquide visqueux appelé *plasma*, et des cellules sanguines en suspension dans le plasma.

Plasma

Il est constitué principalement d'eau, avec un grand nombre de substances dissoutes ou en suspension dans celle-ci. Ces substances comprennent :

- des nutriments absorbés dans le tube digestif ;
- de l'oxygène absorbé dans les poumons ;

• des substances chimiques synthétisées par les cellules du corps, par exemple des hormones ;

• des matériaux de dégradation produits par toutes les cellules, éliminés hors du corps par excrétion.

Cellules du sang

Elles se répartissent en trois groupes, selon leurs fonctions (Fig. 1.6).

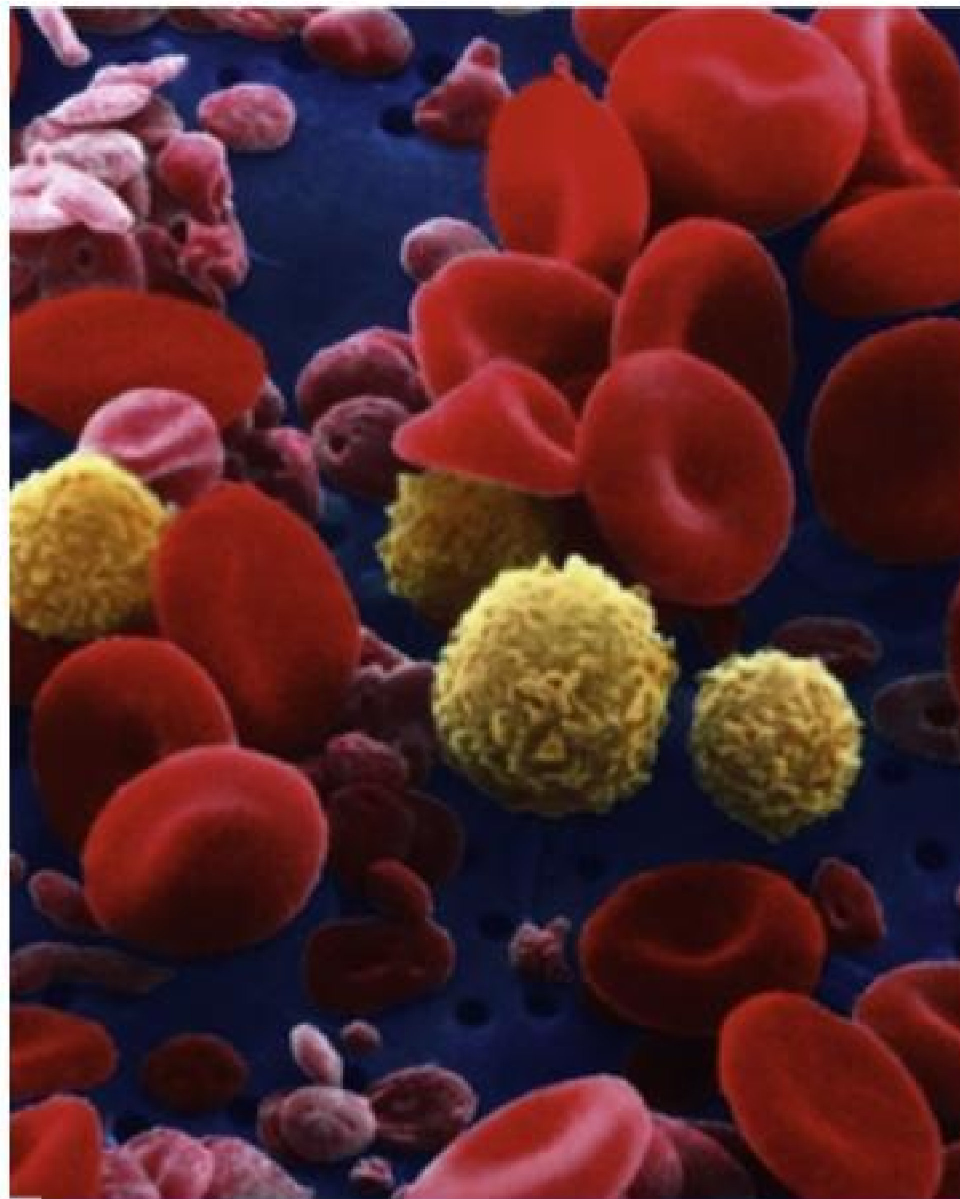


Figure 1.6 Microscopie à balayage électronique en couleur du sang montrant des globules rouges, des globules blancs (en

jaune) et des plaquettes (en rose).

Les *érythrocytes* (cellules rouges du sang, hématies) transportent l'oxygène et à un moindre degré le dioxyde de carbone entre les poumons et toutes les cellules corporelles.

Les *leucocytes* (cellules blanches du sang, globules blancs) sont principalement concernés par la protection du corps contre les infections et d'autres substances étrangères. Il y a plusieurs types de leucocytes, assumant leurs fonctions de protection selon différentes voies. Ces cellules sont plus grandes et moins nombreuses que les érythrocytes.

Les *plaquettes* (thrombocytes) sont de minuscules fragments cellulaires qui jouent un rôle essentiel dans la coagulation sanguine.

Système circulatoire (Ch. 5)

Le système circulatoire est fait d'un réseau de vaisseaux sanguins et du cœur (Fig. 1.7).

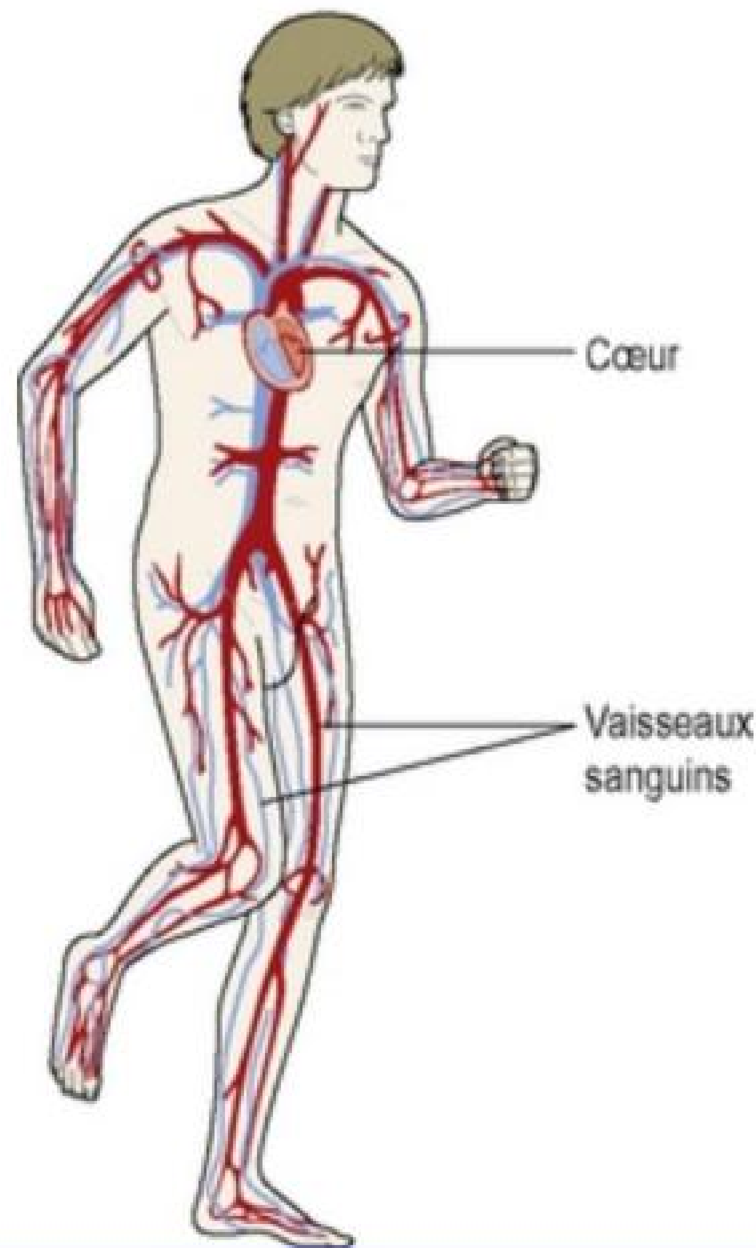


Figure 1.7 Le système circulatoire.

Vaisseaux sanguins

Ils sont de trois types :

- les *artères*, qui transportent le sang venu du cœur ;
- les *veines*, qui ramènent le sang au cœur ;
- les *capillaires*, qui relient les artères et les veines.

Les capillaires sont de très fins vaisseaux sanguins, avec des parois très minces d'une seule couche de cellules. Ils

sont le siège des échanges de substances entre le sang et les tissus, par exemple de nutriments, d'oxygène et de produits de déchet cellulaires. Les vaisseaux sanguins forment un réseau transportant le sang :

- aux poumons (*circulation pulmonaire*), où l'oxygène passe, depuis l'air inhalé, dans le sang, tandis qu'en même temps du dioxyde de carbone passe du sang dans l'air des poumons ;

- aux cellules dans toutes les parties du corps (*circulation générale* ou *systémique*).

Cœur

Le cœur est un sac musculaire qui envoie le sang dans tout le corps, et maintient la pression sanguine.

Le muscle cardiaque n'est pas sous contrôle conscient (volontaire). Au repos, le cœur se contracte, ou bat, entre 65 et 75 fois par minute. Le rythme s'accélère beaucoup durant l'exercice, quand les besoins en oxygène du corps sont accrus.

Le rythme auquel bat le cœur peut être compté en prenant le *pouls*. Le pouls est le plus facilement perçu là où une artère superficielle peut être pressée doucement contre un os. Le poignet est le site le plus communément utilisé dans ce but.

Système lymphatique (Ch. 6)

Le système lymphatique (Fig. 1.8) consiste en une série de *vaisseaux lymphatiques*, qui débutent sous forme de tubes à extrémité aveugle dans les espaces entre les capillaires sanguins et les cellules tissulaires. Structurellement, ils sont semblables aux veines et aux capillaires sanguins, mais les pores dans les parois des capillaires lymphatiques sont plus grands que ceux des capillaires sanguins. La *lymphe* est un liquide tissulaire qui contient aussi des éléments drainés depuis les espaces tissulaires, notamment les protéines plasmatiques et, parfois, des bactéries ou des débris cellulaires. Elle est transportée dans les vaisseaux lymphatiques, et elle retourne dans le courant sanguin.

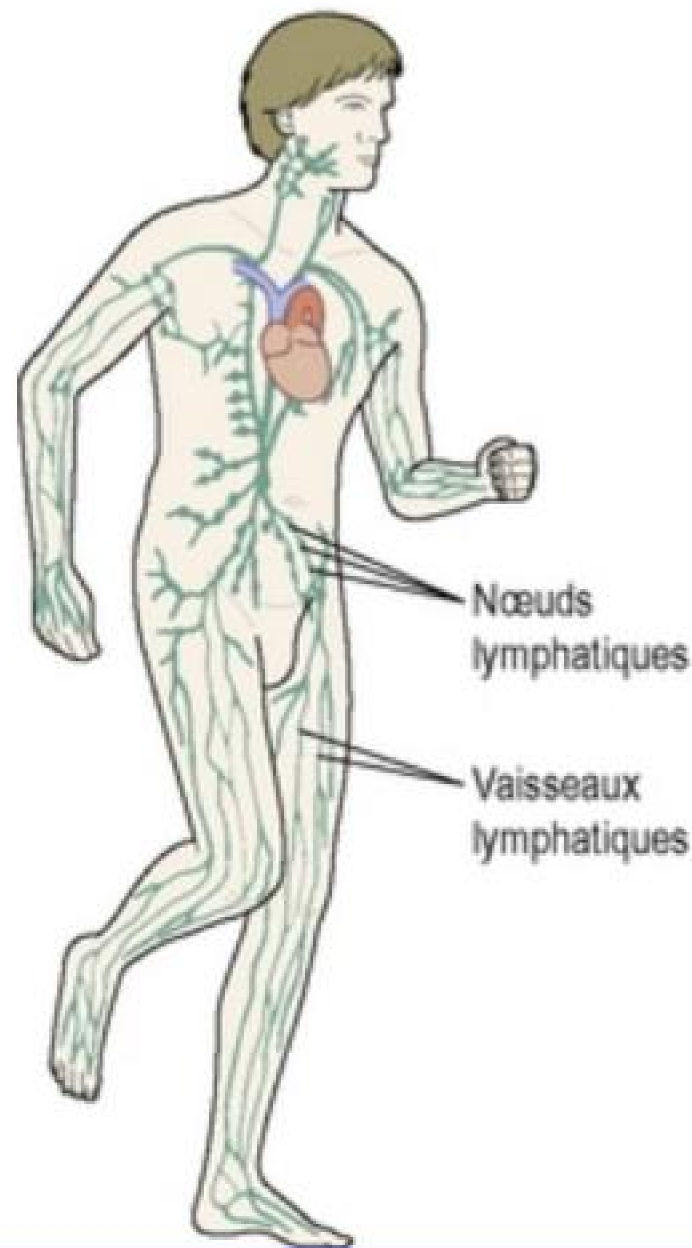


Figure 1.8 Le système lymphatique : nœuds et vaisseaux.

Il y a une série de *nœuds lymphatiques* situés à divers points le long des vaisseaux lymphatiques. La lymphe est filtrée quand elle passe à travers les ganglions lymphatiques, et des microbes, et d'autres matériaux sont alors enlevés.

Le système lymphatique (Ch. 6) fournit aussi les sites de formation et de maturation des *lymphocytes*, leucocytes impliqués dans l'immunité (Ch. 15).

Communication interne

La communication interne est assurée par les activités des systèmes nerveux et endocrinien.

Système nerveux

Le système nerveux est un système de communication rapide. Ses principaux composants sont montrés dans la figure 1.9.

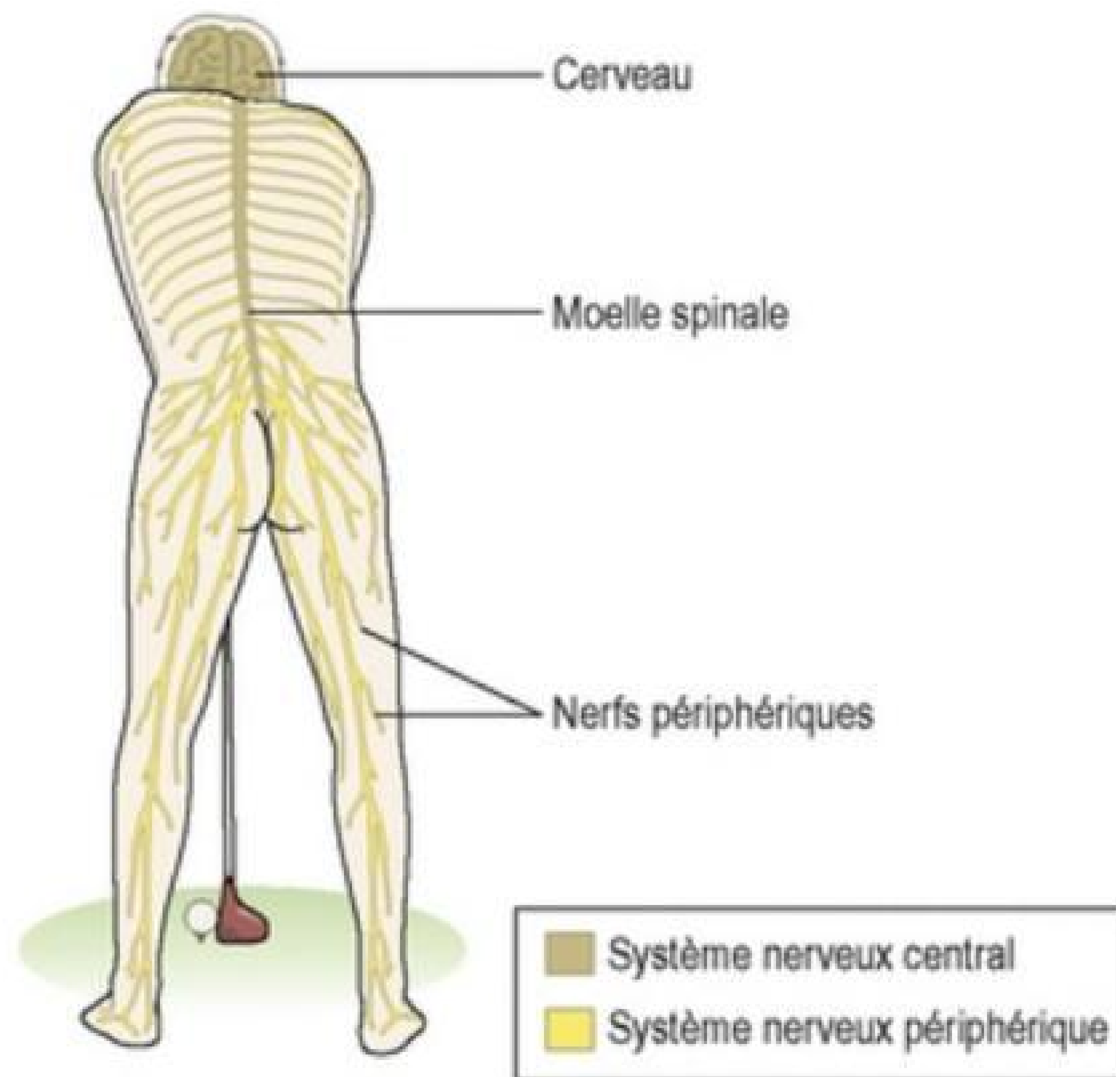


Figure 1.9 Le système nerveux.

Le *système nerveux central* comprend :

- le *cerveau*, situé à l'intérieur du crâne ;

- la *moelle spinale* (épinière), qui va de la base du crâne à la région lombale, et qui est protégée des traumatismes par les os de la colonne spinale.

Le *système nerveux périphérique* est un réseau de fibres nerveuses. Il s'agit des :

- nerfs *sensitifs* ou *afférents*, qui transmettent les signaux du corps au cerveau ; ou

- nerfs *moteurs* ou *efférents*, qui transmettent les signaux du cerveau aux organes effecteurs, comme les muscles et les glandes.

Les *sens somatiques(communs)* sont ceux de la douleur, du toucher, du chaud et du froid ; ils sont liés à la stimulation de récepteurs sensitifs spécialisés situés au niveau de terminaisons nerveuses présentes dans toute l'étendue de la peau.

Les muscles et les articulations contiennent des récepteurs différents, qui répondent aux modifications dans la position et l'orientation du corps, afin de maintenir sa posture ainsi que l'équilibre. Encore d'autres récepteurs sont activés par des stimulus dans des organes internes, et ils contrôlent des fonctions corporelles vitales, par exemple le rythme cardiaque, le rythme respiratoire et la pression

artérielle. La stimulation de n'importe lequel de ces récepteurs déclenche des influx nerveux conduits au cerveau par des nerfs sensitifs (afférents).

La communication le long des fibres (cellules) nerveuses se fait par des influx électriques générés quand des terminaisons nerveuses sont stimulées. Les signaux nerveux se déplaçant à grande vitesse, la réaction à un signal nerveux est quasi immédiate, ce qui permet des ajustements rapides et subtils des fonctions corporelles.

La communication entre les cellules nerveuses est aussi requise, car plus d'un nerf est impliqué dans la chaîne d'événements survenant entre le stimulus initial et la réaction qu'il déclenche. Les nerfs communiquent entre eux en libérant un produit chimique (appelé *neurotransmetteur*) dans de très petites fentes situées entre les nerfs (NdT : il s'agit des fentes synaptiques). Le neurotransmetteur traverse rapidement la fente et stimule ou inhibe la cellule nerveuse qui suit, permettant ainsi au message d'être transmis.

Les nerfs sensitifs envoient, depuis le corps, des signaux aux parties appropriées du cerveau, où l'information entrante est analysée et collationnée. Le cerveau répond en envoyant des signaux le long des nerfs moteurs (efférents) allant à (aux) l'organe(s) effecteur(s) approprié(s). De cette

façon, de nombreux aspects de la fonction corporelle sont surveillés et ajustés en continu, habituellement par le contrôle de la rétroaction négative, et généralement sans participation de la conscience (par exemple la régulation de la pression sanguine).

Les *actions réflexes* sont rapides, involontaires, et représentent habituellement des réponses motrices à des stimulus spécifiques. Elles comprennent :

- le retrait d'un doigt d'une surface très chaude ;
- la constriction de la pupille en réaction à une lumière vive ;
- le contrôle de la pression sanguine.

Système endocrinien (Ch. 9)

Le système endocrinien est fait d'un certain nombre de *glandes* situées dans différentes parties du corps. Elles synthétisent et sécrètent des messages chimiques appelés *hormones,* qui circulent dans tout le corps avec le sang. Les hormones stimulent des *glandes* ou des *tissus cibles,* influençant leurs activités cellulaires métaboliques et autres, et contrôlant la croissance ainsi que la maturation corporelles. Les glandes endocrines détectent le taux sanguin de diverses substances et y répondent, dont celui

d'hormones spécifiques. Les modifications du taux sanguin des hormones sont habituellement contrôlées par des mécanismes de rétroaction négative (voir Fig. 1.34). Le système endocrinien fournit un contrôle des fonctions corporelles plus lent et plus précis que le système nerveux.

Communication avec l'environnement externe

Sens (Ch. 8)

Ces sens sont liés à la stimulation de cellules réceptrices sensitives localisées dans des organes ou des tissus sensitifs siégeant dans la tête. Les sens et les organes impliqués sont montrés dans l'encadré 1.2.

Encadré 1.2 Les sens et les organes en rapport

Vue – yeux

Ouïe – oreilles

Équilibre – oreilles

Odorat – nez

Goût – langue

Bien que ces sens soient considérés comme distincts et différents l'un de l'autre, un sens est rarement utilisé seul (Fig. 1.10). Par exemple, quand l'odeur d'une fumée est

perçue, alors d'autres sens tels que la vue et l'ouïe sont utilisés pour localiser la source du feu. De même, le goût et l'odorat sont étroitement associés dans le plaisir, ou le dégoût, que procurent les aliments. Le cerveau regroupe l'information entrante avec l'information mémorisée, et il initie une réponse en déclenchant des influx électriques dans les nerfs moteurs (efférents) allant aux organes effecteurs que sont les muscles et les glandes. Ces réponses permettent à l'individu d'échapper au feu, ou de préparer le système digestif à l'ingestion d'aliments.



Figure 1.10 Utilisation combinée des sens : vue, ouïe, odorat et goût.

Communication verbale

Le son est un moyen de communication, produit dans le

larynx en soufflant de l'air dans l'espace entre les *cordes vocales* (voir Fig. 10.8) pendant l'expiration. La parole produit des sons reconnaissables par la contraction coordonnée des muscles de la gorge et des joues, et par des mouvements de la langue et de la mandibule (maxillaire inférieur).

Communication non verbale

La posture et les mouvements sont souvent associés à la communication non verbale, comme c'est par exemple le cas du hochement de tête et du haussement d'épaules. Le squelette fournit la charpente osseuse du corps (Ch. 16), et les mouvements se produisent au niveau des articulations entre les os. Les muscles squelettiques mobilisent le squelette et attachent les os les uns aux autres, s'étendant sur une articulation ou plus. Ils sont stimulés par la partie du système nerveux sous contrôle volontaire (conscient). Une partie de la communication non verbale, par exemple des modifications dans l'expression du visage, peut ne pas impliquer de mouvements des os.

Prise de matériaux bruts et élimination des déchets

Cette section envisage les substances introduites dans l'organisme, ou excrétées par celui-ci. L'oxygène, l'eau et

les aliments sont des substances introduites ; le dioxyde de carbone, l'urine et les fèces sont excrétés.

Prise d'oxygène

L'oxygène est un gaz constituant environ 21 % de l'air atmosphérique. Un apport continu est essentiel à la vie humaine car il est requis pour la plupart des activités chimiques siégeant dans les cellules corporelles. L'oxygène est nécessaire dans la série de réactions chimiques entraînant la libération d'énergie à partir des nutriments.

Le système respiratoire supérieur transporte l'air entre le nez et les poumons durant la respiration (Ch. 10). L'air traverse un système de passages comprenant le pharynx (qui est aussi une partie du tractus digestif), le larynx (boîte de la voix), la trachée, deux bronches souches (une par poumon) et un grand nombre de voies bronchiques (Fig. 1.11). Celles-ci se terminent dans les alvéoles pulmonaires, millions de minuscules sacs à air dans chaque poumon. Ces alvéoles sont entourées par un réseau de capillaires très fins, et elles sont le siège de l'échange vital de gaz entre les poumons et le sang (Fig. 1.12).

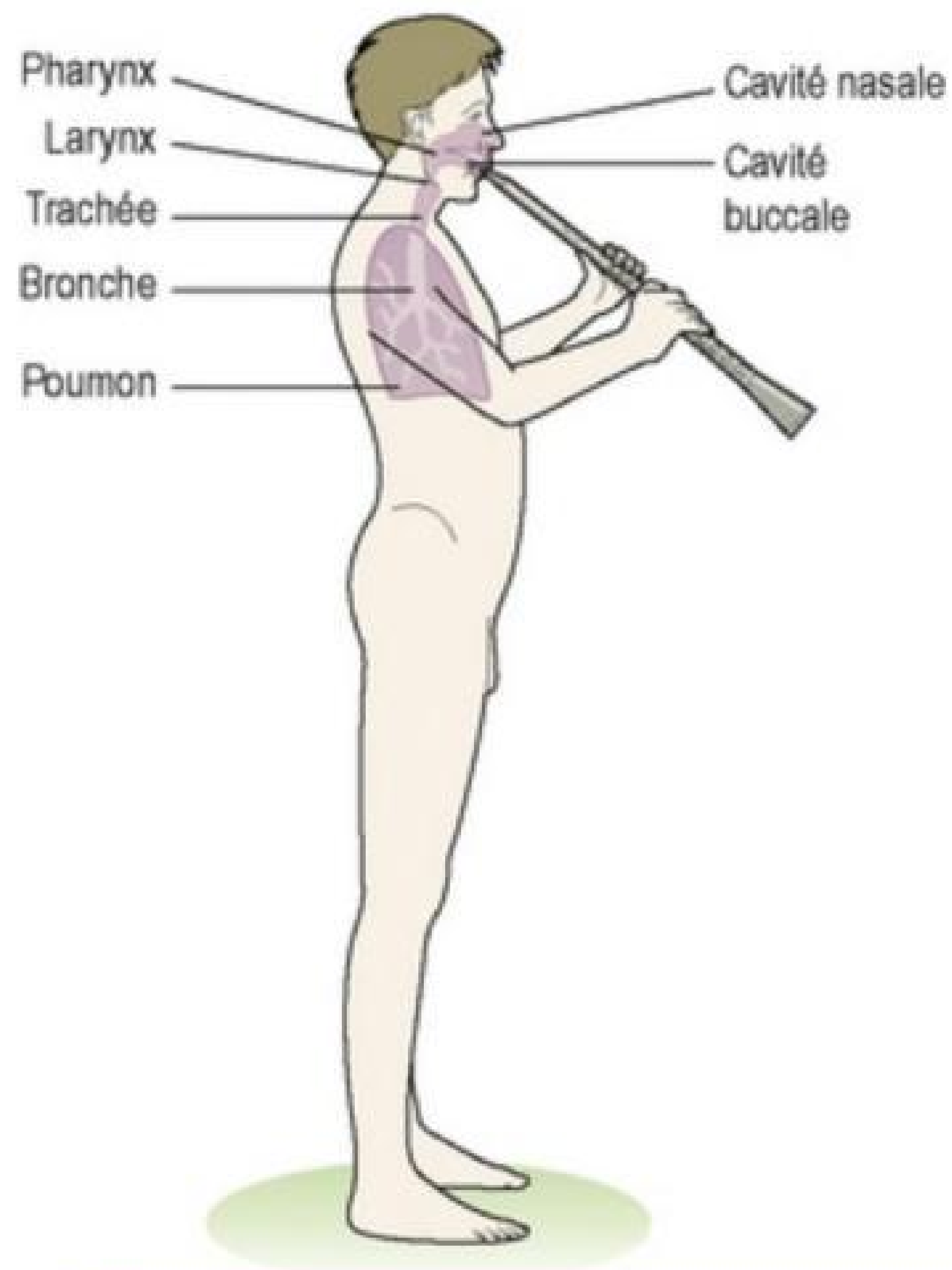


Figure 1.11 Le système respiratoire.

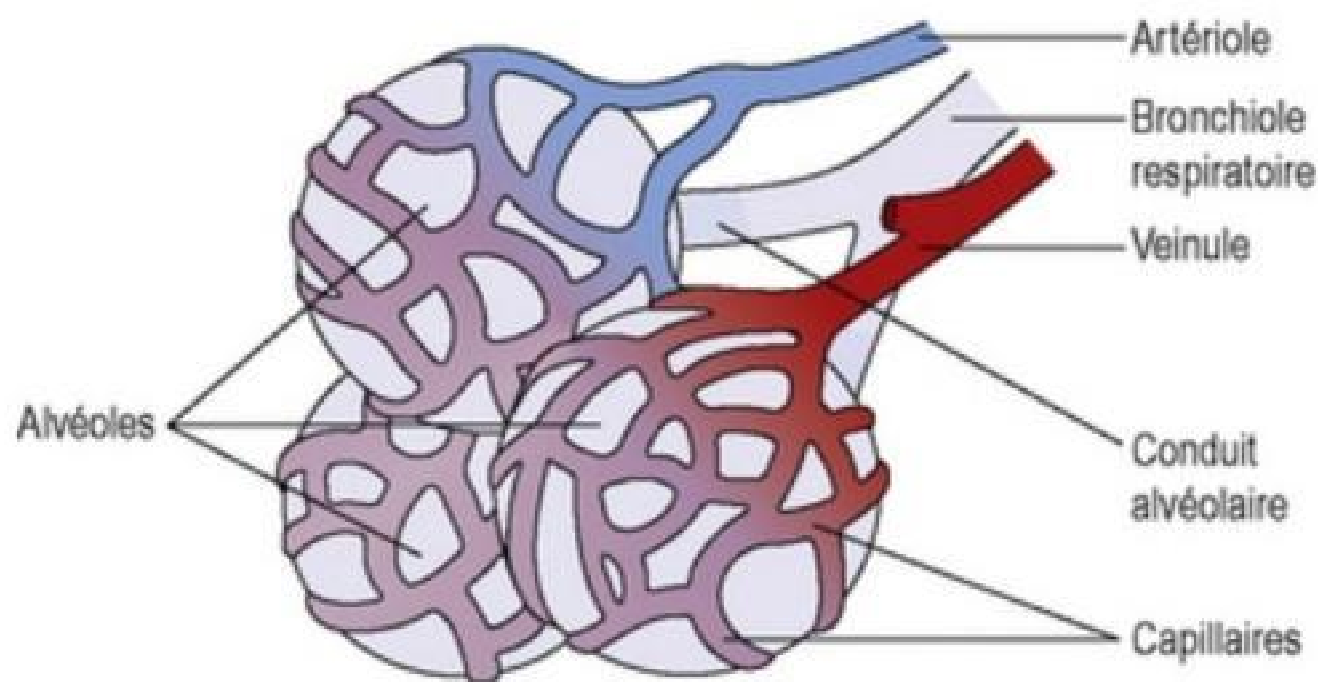


Figure 1.12 Alvéoles : le site des échanges gazeux.

L'azote, qui représente environ 80 % de l'air atmosphérique, est inhalé et expiré mais il ne peut pas être utilisé par le corps sous cette forme gazeuse. L'azote nécessaire au corps est obtenu en mangeant des aliments contenant des protéines, viande et poisson principalement.

Ingestion des nutriments (alimentation)

La nutrition est abordée dans le chapitre 11. Un régime équilibré est important pour la santé, et il fournit des *nutriments*, substances absorbées dans le tube digestif, souvent après y avoir été digérées, et qui favorisent les fonctions corporelles. Les nutriments incluent l'eau, des hydrates de carbone, des protéines, des graisses, des vitamines et des sels minéraux. Ils assurent des fonctions

vitales, dont :

- le maintien de l'équilibre hydrique à l'intérieur du corps ;

- la production d'énergie, due principalement aux hydrates de carbone et aux graisses ;

- la synthèse de molécules volumineuses et complexes, en utilisant des sels minéraux, des protéines, des graisses, des hydrates de carbone et des vitamines ;

- la formation, la croissance et la réparation des cellules, utilisant en particulier des protéines.

Digestion

Le système digestif s'est développé parce que les aliments sont chimiquement complexes, rarement sous une forme utilisable directement par les cellules corporelles. Il a pour rôle de séparer les constituants des aliments, de digérer ceux-ci, afin que leurs constituants soient absorbés dans le tube digestif pour gagner la circulation générale et, de là, les cellules, où ils sont utilisés. Le système digestif comporte le tube digestif, ou tractus alimentaire, et des glandes (Fig. 1.13).

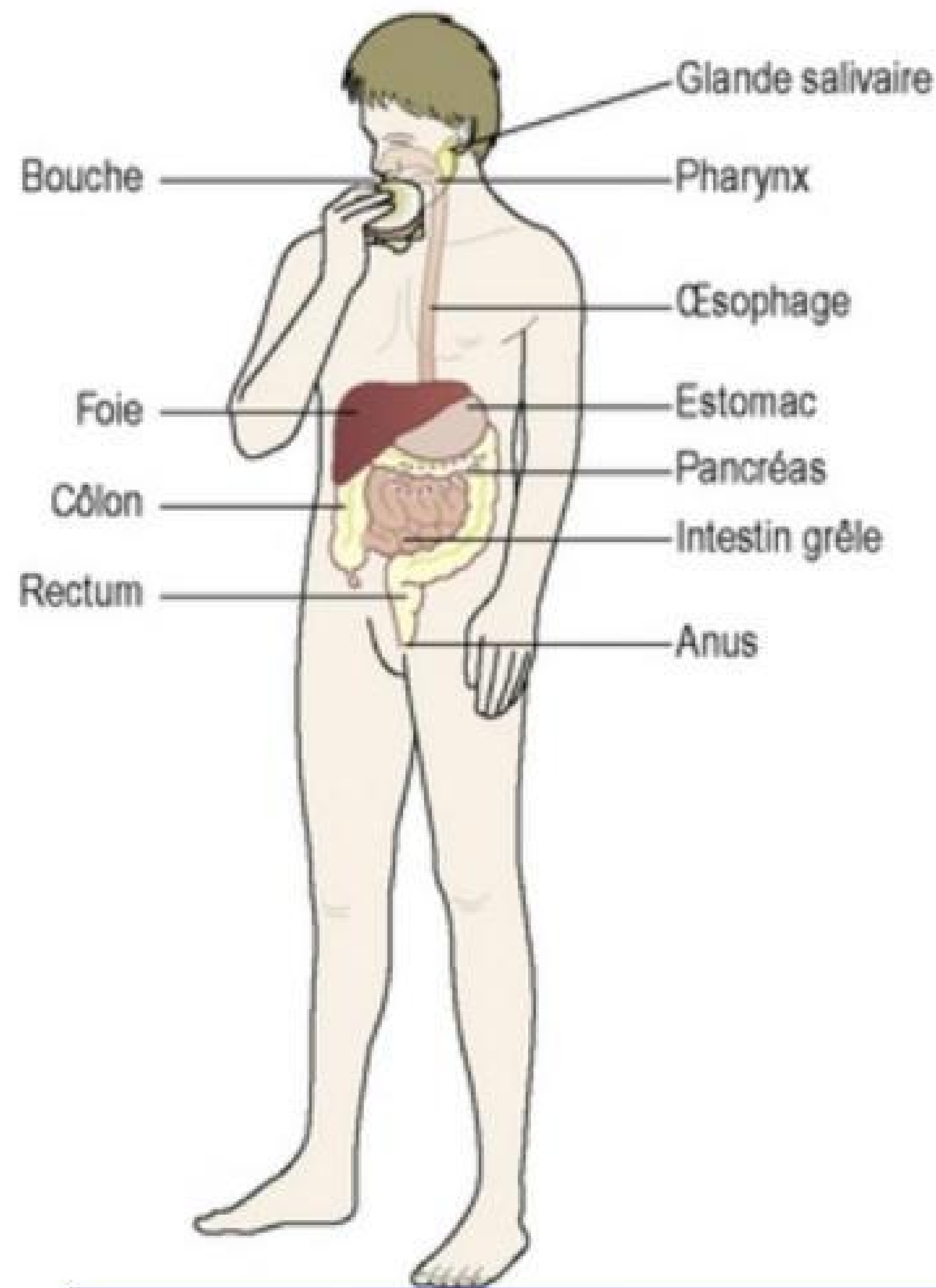


Figure 1.13 Le système digestif.

Canal alimentaire

Il s'agit d'un tube débutant à la bouche, se poursuivant par le pharynx, l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle et le côlon, le rectum et l'anus.

Glandes

Les *glandes salivaires*, le *pancréas* et le *foie* sont des organes annexes reliés au canal alimentaire par des canaux. Il y a

aussi de nombreuses minuscules glandes situées dans les parois du canal alimentaire. La plupart de ces glandes synthétisent des *enzymes digestives* impliquées dans la scission chimique des constituants des aliments. Quelques autres sécrètent du mucus qui fournit la lubrification.

Métabolisme

C'est la somme totale de l'activité chimique dans le corps. Il comporte deux groupes de processus :

- l'*anabolisme*, qui est la construction ou la synthèse de substances volumineuses et complexes ;

- le *catabolisme*, qui est la rupture de substances afin de fournir de l'énergie et des matériaux bruts pour l'anabolisme, et de libérer des substances excrétées comme déchets.

Les sources d'énergie sont principalement les hydrates de carbone et les graisses amenés par l'alimentation. Si leur apport est insuffisant, des protéines sont utilisées.

Élimination des déchets

Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est un produit de déchet du métabolisme cellulaire. Comme il se dissout en liquides

corporels pour former une solution acide, il doit être excrété en quantité appropriée afin de maintenir le pH (acidité ou alcalinité) dans les limites normales. La principale voie d'excrétion du dioxyde de carbone est représentée par les poumons durant l'expiration.

Urine

L'urine est formée par les reins, qui sont une partie du système urinaire (Ch. 13). Les organes du système urinaire sont indiqués dans la figure 1.14. L'urine est faite d'eau et de produits de déchet provenant principalement du catabolisme des protéines, par exemple l'urée. Sous l'influence d'hormones du système endocrinien, les reins contrôlent l'équilibre hydrique du corps. Ils jouent aussi un rôle dans le maintien du pH sanguin dans des limites normales. La vessie emmagasine l'urine jusqu'à son excrétion pendant la *miction*.

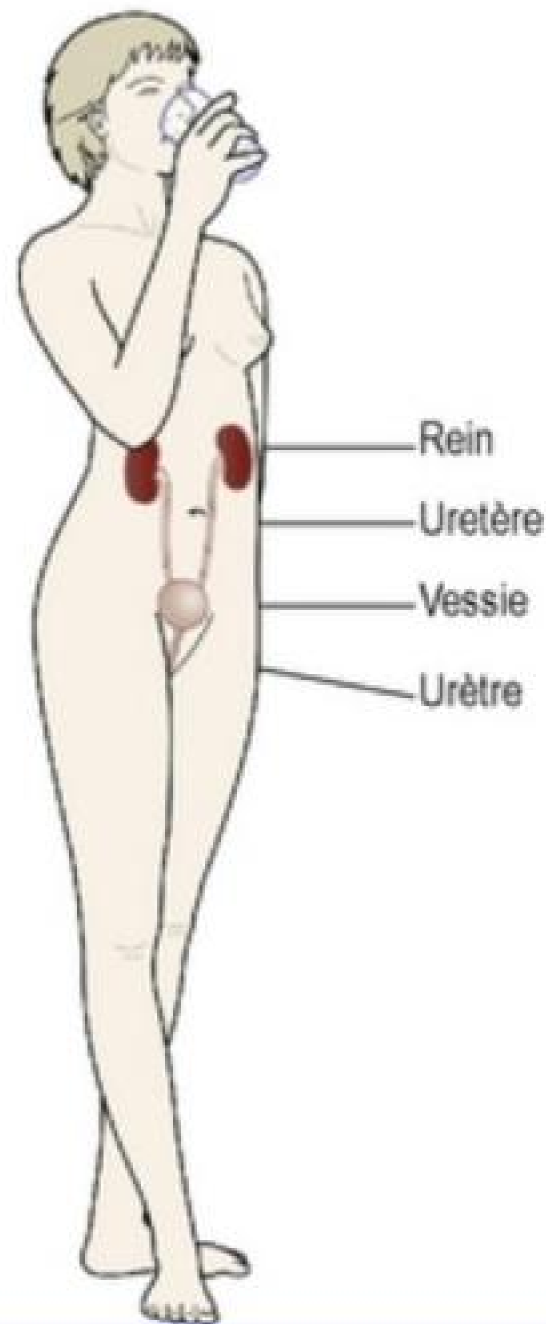


Figure 1.14 Le système urinaire.

Fèces

Les matériaux de déchet du système digestif sont excrétés par les fèces, durant la *défécation*. Ils contiennent :

- des résidus alimentaires indigestibles, qui restent dans le canal alimentaire car ils ne peuvent pas être absorbés dans l'intestin ;

• de la bile, venant du foie, qui contient les déchets de la destruction (NdT : hémolyse physiologique) des globules rouges ;

• une grande quantité de microbes.

Protection et survie

Dans cette section, les activités en rapport avec ces fonctions sont envisagées sous les titres suivants : protection contre l'environnement externe, protection contre l'infection, mouvement, et survie des espèces.

Protection contre l'environnement externe

La peau (Fig. 1.15) forme une barrière contre l'invasion par des microbes, les produits chimiques et la déshydratation. Elle présente deux couches : l'épiderme et le derme.

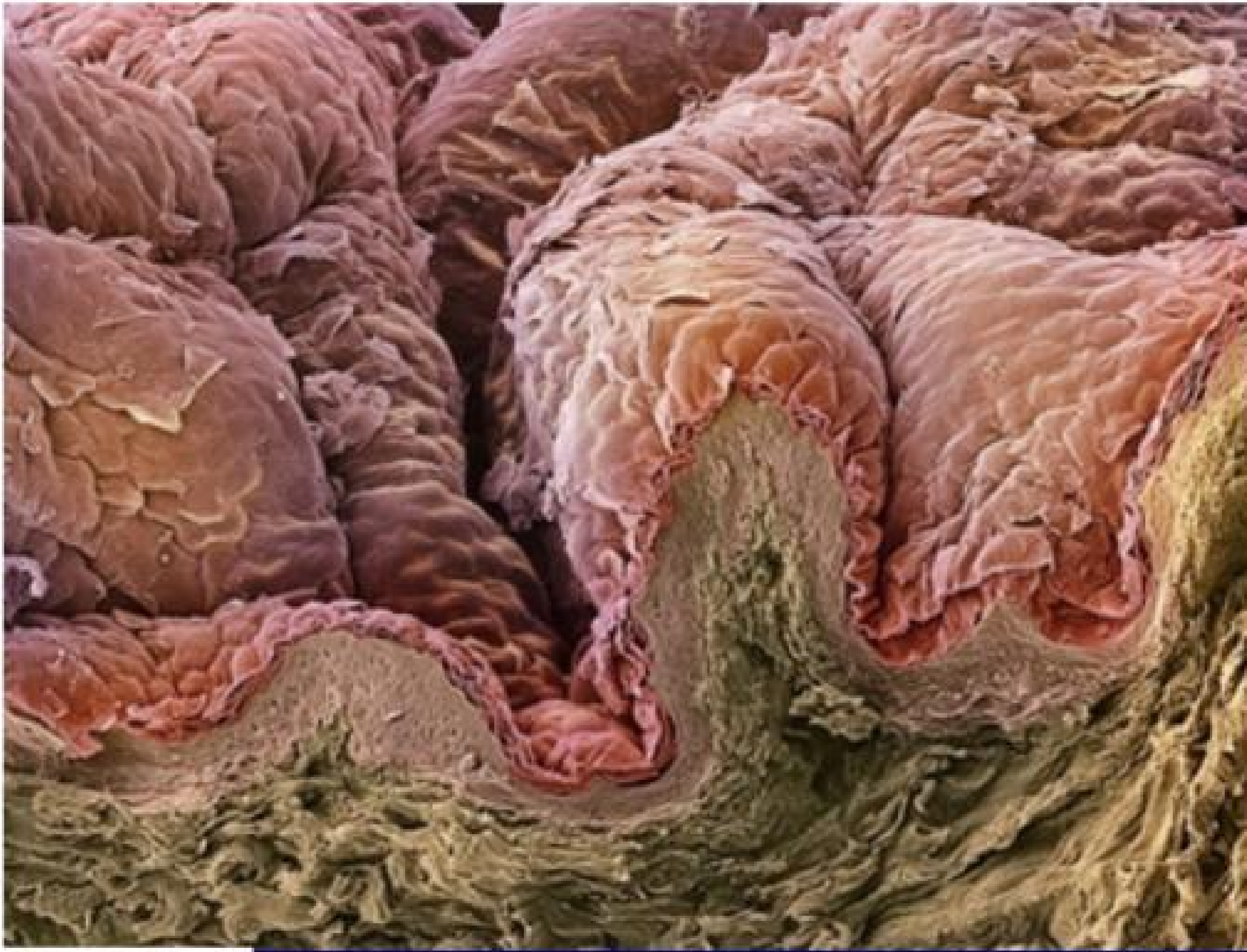


Figure 1.15 Microscopie à balayage électronique en couleur de la peau.

L'*épiderme* siège superficiellement ; il est fait de plusieurs couches de cellules, qui évoluent vers la surface depuis la couche la plus profonde. La couche en surface est faite de cellules mortes, en permanence éliminées et remplacées par des cellules venues de la couche sous-jacente. L'épiderme constitue la barrière entre l'environnement humide interne et l'atmosphère sèche de l'environnement externe.

Le *derme* contient de minuscules *glandes sudoripares* (ou sudorifères), dont le canal ou conduit excréteur est court,

conduisant à la surface de la peau. Les poils croissent à partir de follicules dans le derme. Le derme est riche en terminaisons nerveuses sensitives sensibles à la douleur, à la température et au toucher. C'est un organe très vaste qui procure constamment au système nerveux central des influx nerveux à partir des surfaces corporelles. La peau joue aussi un rôle important dans la régulation de la température corporelle.

Protection contre l'infection

Le corps dispose de nombreux moyens d'autoprotection contre les envahisseurs, qui lui confèrent résistance et/ou immunité (Ch. 15). Ils sont divisés en deux catégories : mécanismes de défense spécifiques et non spécifiques.

Mécanismes de défense non spécifiques

Ces mécanismes sont efficaces contre n'importe quel envahisseur. La protection fournie par la peau a été soulignée plus haut. En outre, les surfaces corporelles ont d'autres éléments protecteurs, par exemple le *mucus* sécrété par les muqueuses, qui englobe les microbes et d'autres matériels étrangers se déposant sur la surface gluante. Certains liquides corporels contiennent des *substances antimicrobiennes* ; par exemple, le liquide gastrique contient de l'acide chlorhydrique, qui tue la

plupart des microbes ingérés. Après une invasion couronnée de succès, d'autres processus non spécifiques, qui contrebalancent des conséquences potentiellement nuisibles, peuvent survenir, dont la *réponse inflammatoire*, impliquée également dans la cicatrisation tissulaire.

Mécanismes de défense spécifiques

Le corps génère une réponse spécifique (immune) contre toute substance reconnue comme étrangère. De telles substances, appelées *antigènes*, comprennent :

- les bactéries et les autres microbes ;
- les cellules cancéreuses, ou les cellules de tissus transplantés ;
- le pollen des fleurs et des plantes.

Après exposition à un antigène, il se développe souvent une immunité à vie contre toute nouvelle invasion par le même antigène. Tout au long de sa vie, un individu construit progressivement une immunité vis-à-vis de millions d'antigènes. Les réactions allergiques sont des réponses immunitaires anormalement puissantes à un antigène qui, habituellement, n'entraîne aucune menace contre le corps.

Mouvement

Le mouvement de la totalité du corps ou d'une de ses parties est essentiel pour de nombreuses activités corporelles, par exemple obtenir des aliments, éviter des traumatismes, et se reproduire.

La plupart des mouvements corporels sont sous contrôle conscient (volontaire). Font exception les mouvements effectués avant que l'individu en soit averti, comme l'action réflexe de retirer son doigt d'une surface très chaude.

Le système musculosquelettique comprend les os du squelette, les *muscles squelettiques* et les *articulations*. Le squelette fournit le cadre osseux rigide du corps, et le mouvement se produit au niveau de l'articulation entre deux os, ou plus. Les muscles squelettiques (Fig. 1.16), sous le contrôle du système nerveux volontaire, maintiennent la posture et l'équilibre, et mobilisent le squelette. Une brève description du squelette est donnée dans le chapitre 3, et des données plus détaillées sur les os, les muscles et les articulations sont présentées dans le chapitre 16.

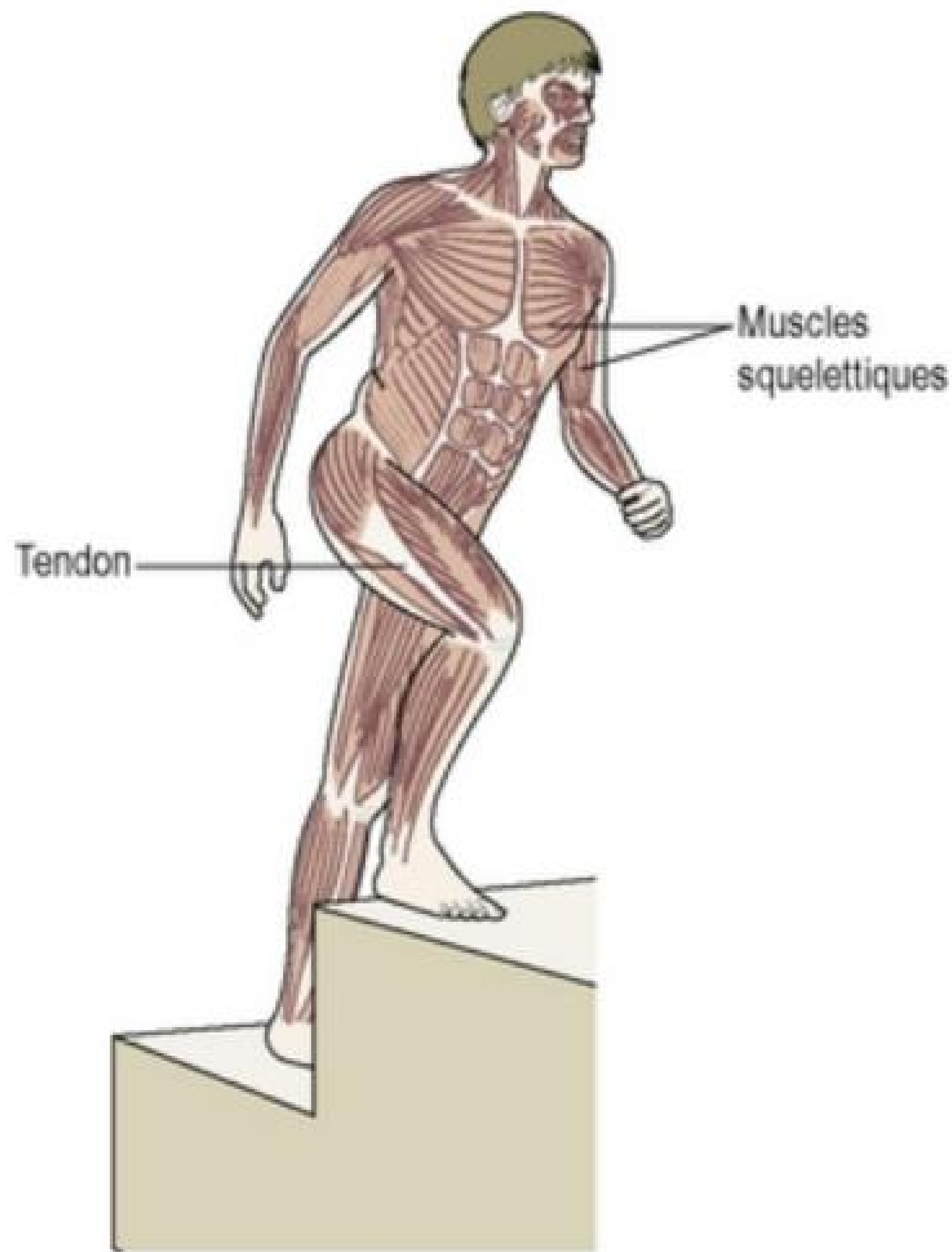


Figure 1.16 Les muscles squelettiques.

Survie des espèces

La survie d'une espèce est essentielle pour éviter son extinction. Cela nécessite la transmission de caractéristiques héréditaires à une nouvelle génération par le biais de la reproduction.

Transmission de caractéristiques héréditaires

Les individus aux caractéristiques génétiques les plus avantageuses sont les plus susceptibles de survivre, de se reproduire et de transmettre leurs gènes à la génération suivante. C'est la base de la sélection naturelle, c'est-à-dire la « survie du plus sain ». Le chapitre 17 explore la transmission des caractéristiques héréditaires.

Reproduction (Ch. 18)

Le succès de la reproduction est essentiel à la perpétuation de l'espèce et de ses caractéristiques génétiques d'une génération à la suivante. La fertilisation (Fig. 1.17) intervient lorsqu'un *ovule* féminin fusionne avec un *spermatozoïde*, cellule du sperme. Les ovules sont produits par deux *ovaires*, situés dans le pelvis de la femme (Fig. 1.18). Habituellement, un seul ovule est libéré en même temps, et il voyage vers l'*utérus* dans la *trompe utérine*. Les spermatozoïdes sont produits en grand nombre par les deux *testicules*, situés dans le *scrotum*. Depuis chaque testicule, les spermatozoïdes passent par le *canal déférent* (vas deferens) et gagnent l'*urètre*. Pendant les relations sexuelles (coït), les spermatozoïdes sont déposés dans le *vagin*.

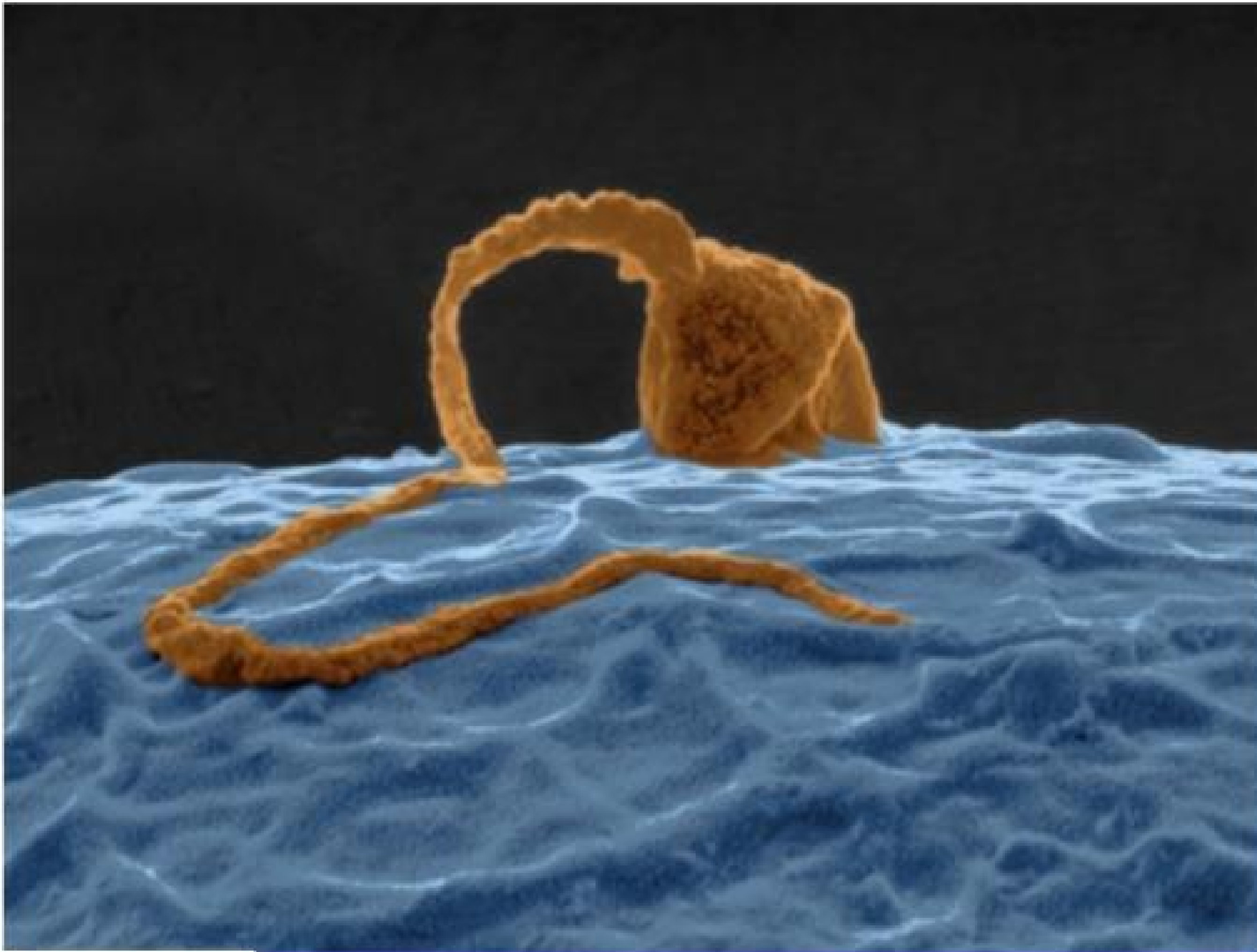


Figure 1.17 Microscopie à balayage électronique en couleur montrant la fertilisation (spermatozoïde en orange ; ovocyte en bleu).

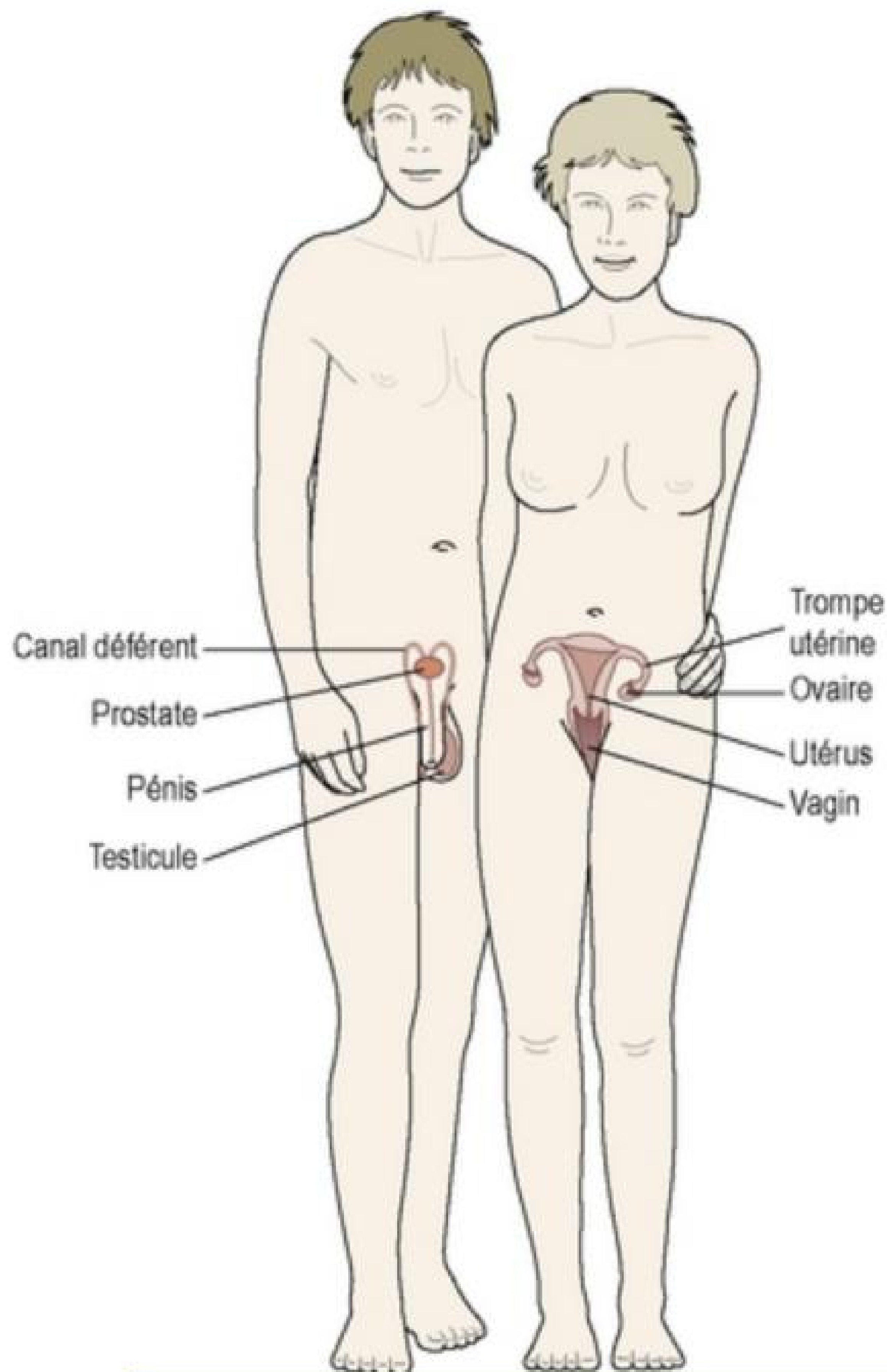


Figure 1.18 Les systèmes reproducteurs : homme et femme.

Ils remontent alors jusque dans l'utérus, et l'un d'entre eux fertilise l'ovule dans le tube utérin. L'ovule fertilisé (ou *zygote*) passe alors dans l'utérus, s'enchâsse dans la paroi

utérine, et croît jusqu'à maturité pendant la grossesse ou *gestation*, en 40 semaines environ.

Quand l'ovule n'est pas fertilisé, il est expulsé de l'utérus avec une hémorragie appelée *menstruation* (flux menstruel, règles). Le cycle de la femme, appelé *cycle menstruel,* a des phases liées à des modifications dans la concentration des hormones du système endocrinien.

Un cycle dure environ 28 jours. Les cycles se déroulent en continu entre la *puberté* et la *ménopause*, sauf durant la grossesse. Lors de l'*ovulation* (voir Fig. 18.8), au milieu du cycle, un ovocyte est libéré par l'un des deux ovaires. Il n'y a pas de tel cycle chez l'homme, mais des hormones semblables à celles de la femme sont impliquées dans la production et la maturation des spermatozoïdes.

Introduction à l'étude des maladies

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- d'établir la liste des mécanismes qui entraînent souvent des maladies ;
- de définir les termes « étiologie », « pathogenèse » et « pronostic » ;

■de nommer certains processus pathologiques fréquents.

Afin de comprendre les maladies spécifiques décrites dans les chapitres suivants, il est nécessaire de connaître l'anatomie et la physiologie en rapport avec elles, et d'être familiarisé avec les processus pathologiques indiqués plus loin.

Il existe beaucoup de maladies et de désordres différents, allant d'affections mineures mais souvent gênantes à des affections très sérieuses. L'étude d'anomalies peut être facilitée quand une approche par systèmes est adoptée. Afin de la réaliser dans les chapitres suivants où des maladies spécifiques sont expliquées, les éléments en gras dans l'encadré 1.3 seront utilisés comme guides. Les causes (*étiologie*) sont indiquées en premier quand il y a des liens clairs entre elles et les effets de l'anomalie (*pathogenèse*).

Encadré 1.3 Suggestion de plan pour l'étude des pathologies

Étiologie : cause de la maladie

Pathogenèse : nature du processus de la maladie et son effet sur le fonctionnement normal du corps

Complications : autres conséquences pouvant survenir si la maladie progresse

Pronostic : issue vraisemblable

Étiologie

Les maladies sont habituellement dues à un ou plusieurs mécanismes, en nombre limité, qui peuvent comprendre :

- des anomalies génétiques innées ou acquises ;
- l'infection par des micro-organismes, par exemple des bactéries, des virus, des microbes, ou des parasites, par exemple des vers ;
- des produits chimiques ;
- des radiations ionisantes ;
- des traumatismes physiques ;
- une dégénérescence, liée par exemple à une utilisation excessive ou au vieillissement.

Dans certaines maladies, un ou plusieurs des facteurs étiologiques énumérés ci-dessus sont impliqués, alors que dans d'autres aucune cause spécifique n'est identifiée, et celles-ci sont dites *essentielles*, *idiopathiques* ou *spontanées*. Bien que la cause précise d'une maladie puisse être inconnue, des *facteurs de prédisposition*, ou *facteurs de risque*, sont habituellement identifiables. Les affections

iatrogéniques sont celles provoquées par les interventions des soignants.

Pathogenèse

Les principaux processus responsables de troubles ou de maladies sont indiqués ci-après. L'encadré 1.4 fournit la terminologie associée aux maladies.

Encadré 1.4 Glossaire de la terminologie des maladies

Acquis : désordre se développant à n'importe quel moment après la naissance (opposer à congénital).

Aiguë : maladie à début brusque, requérant souvent un traitement urgent (opposer à chronique).

Chronique : désordre de longue durée qui, habituellement, ne peut pas être guéri (opposer à aiguë).

Congénital : désordre présent à la naissance (opposer à acquis).

Signe : anomalie vue ou mesurée par les personnes autres que le patient.

Symptôme : anomalie reconnue et décrite par le patient.

Syndrome : ensemble de signes et de symptômes tendant à survenir ensemble.

Inflammation (p. 391)

C’est une réponse tissulaire à tout type d’agression tissulaire, par exemple traumatisme ou infection. Les affections inflammatoires sont indiquées par le suffixe -ite, par exemple appendicite.

Tumeurs (p. 52)

Elles surviennent quand des cellules anormales échappent à la surveillance du corps et prolifèrent. Leur taux de production dépasse celui de la mort cellulaire normale, entraînant le développement d’une masse. Les tumeurs sont indiquées par le suffixe -ome, par exemple carcinome.

Mécanismes immunitaires anormaux (p. 399)

Il s’agit de réponses du système immunitaire normalement protecteur entraînant des effets indésirables.

Thrombose, embolie et infarctus (p. 118)

Ce sont les effets et les conséquences de modifications anormales du sang et/ou de la paroi des vaisseaux sanguins.

Dégénérescence

Elle est souvent liée au vieillissement normal mais elle survient aussi prématurément, quand des structures se détériorent, entraînant une altération de leur fonction.

Anomalies métaboliques

Elles sont responsables d'effets métaboliques indésirables, par exemple diabète sucré (p. 244).

Anomalies génétiques

Elles peuvent être héritées (par exemple phénylcétonurie, p. 462) ou dues à des facteurs environnementaux tels que l'exposition à des radiations ionisantes (p. 52).

Chapitre 2

Introduction à la chimie de la vie

Comme les tissus vivants sont composés de blocs de construction chimiques, l'étude de l'anatomie et de la

physiologie repose sur une certaine compréhension de la biochimie, la chimie de la vie. Ce chapitre présente des concepts chimiques fondamentaux qui étayeront les autres chapitres de ce livre.

Atomes, molécules et composés

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- de définir les termes suivants : nombre atomique, poids atomique, isotope, poids moléculaire, ion, électrolyte, pH, acide et alcalin ;
- de décrire la structure d'un atome ;
- de discuter les types de liaison qui tiennent entre elles les molécules ;
- d'énoncer le concept de concentration molaire ;
- d'expliquer l'importance des tampons dans la régulation du pH.

L'*atome* est la plus petite unité d'un élément qui existe sous forme d'entité stable. Un *élément* est une substance qui ne contient qu'un type d'atomes ; par exemple le fer ne contient que des atomes de fer. Quand une substance

contient deux différents types d'atomes, il s'agit d'un *composé*. Par exemple l'eau est un composé contenant à la fois des atomes d'hydrogène et d'oxygène.

Il y a 92 éléments naturels, mais la grande variété des composés qui forment les tissus vivants ne sont presque entièrement composés que de quatre éléments : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. De petites quantités (environ 4 % du poids corporel) d'autres éléments sont présentes, dont le sodium, le potassium, le calcium et le phosphore.

Structure atomique

Les atomes sont essentiellement des espaces vides, avec un minuscule noyau central contenant des *protons* et des *neutrons*, entouré par des nuées de petits *électrons* en orbite autour de lui (Fig. 2.1). Les neutrons n'ont pas de charge électrique, mais les protons ont une unité de charge électrique positive, tandis que les électrons ont une unité de charge électrique négative. Comme les atomes contiennent un nombre égal de protons et d'électrons, ils n'ont pas de charge nette.

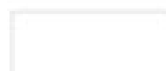


Figure 2.1 Atome avec son noyau, et quatre couches d'électrons.

Ces particules subatomiques diffèrent aussi sur le plan de leur masse. Les électrons sont si petits que leur masse est négligeable, mais les neutrons et les protons ont une unité de masse atomique. Le tableau 2.1 résume les caractéristiques physiques des électrons, des protons et des neutrons.

Tableau 2.1 Caractéristiques des particules constituant l'atome

Particule	Masse	Charge électrique
Proton	1 unité	1 positive
Neutron	1 unité	neutre
Électron	négligeable	1 négative

Nombre atomique et poids atomique

Un élément est différent d'un autre par le nombre de protons du noyau de l'atome (Fig. 2.2). C'est ce qu'on appelle le *nombre atomique*, et chaque élément a son propre et unique nombre atomique. Par exemple, l'hydrogène n'a qu'un seul proton par noyau, l'oxygène en a huit et le sodium onze. Les nombres atomiques de l'hydrogène, de l'oxygène et du sodium sont par conséquent 1, 8 et 11, respectivement. Le *poids atomique* d'un élément est la somme de protons et de neutrons dans le noyau de l'atome.

Figure 2.2 La structure atomique d'éléments : hydrogène, oxygène et sodium.

Les électrons sont représentés dans la figure 2.1 comme décrivant une orbite sur des anneaux concentriques autour du noyau. Ceux-ci représentent schématiquement les différents niveaux d'énergie des électrons par rapport au noyau, et non leur position physique. Le premier niveau d'énergie ne peut porter que deux électrons, et il est rempli en premier. Le deuxième niveau d'énergie ne peut porter que huit électrons, et il est rempli ensuite. Le troisième niveau d'énergie et ceux qui suivent portent un nombre d'électrons allant croissant avec le rang du niveau, chacun contenant un plus grand nombre d'électrons que le précédent.

La *configuration d'électrons* indique la distribution des électrons de chaque élément ; par exemple celle du sodium est 2 8 1 (Fig. 2.2).

La chimie de la vie dépend de la capacité de réaction des atomes et de se combiner entre eux, afin de produire la grande variété de molécules requises pour la diversité biologique. Pour cela, les particules atomiques importantes sont les électrons de la couche superficielle. Un atome est réactif lorsqu'il ne comporte pas un nombre stable

d'électrons dans sa couche externe, et peut donner, recevoir ou partager des électrons avec un atome ou plus afin de parvenir à la stabilité. Cela sera décrit plus complètement dans la section portant sur les molécules et les composés.

Isotopes

Ce sont des atomes d'un élément dans lesquels il y a *un nombre différent de neutrons dans le noyau*. Cela ne modifie pas l'activité électrique de ces atomes, car les neutrons ne portent pas de charge électrique, mais cela modifie leur poids atomique. Par exemple, il existe trois formes d'atome d'hydrogène. La forme la plus habituelle comporte un proton dans le noyau et un électron sur sa couche. Une autre forme (*deuterium*) a un proton et un neutron dans le noyau. Une troisième forme a un proton et deux neutrons dans le noyau, et un électron sur sa couche (*tritium*). Ces trois formes d'hydrogène sont appelées *isotopes* (Fig. 2.3).

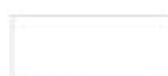


Figure 2.3 Les isotopes d'hydrogène.

Comme le poids atomique d'un élément correspond en réalité à un poids atomique moyen calculé en utilisant tous

ses atomes, le véritable poids atomique de l'hydrogène est de 1,008 mais, pour des raisons essentiellement pratiques, il peut être fixé à 1.

Le chlore a un poids atomique de 35,5, car il contient deux isotopes, l'un avec un poids atomique de 35 (avec 18 neutrons dans le noyau) et l'autre de 37 (avec 20 neutrons dans le noyau). Ces deux isotopes n'ayant pas une fréquence égale, le *poids atomique moyen* du chlore est de 35,5.

Molécules et composés

Il a été mentionné précédemment que les atomes de chaque élément ont un nombre spécifique d'électrons autour du noyau. Quand le nombre d'électrons de la couche externe est soit le nombre maximal (Fig. 2.1), soit une proportion stable de cette fraction, l'élément est dit *inerte* ou chimiquement non réactif, c'est-à-dire qu'il ne se combinera pas facilement à d'autres éléments pour former des composés. Ces éléments sont les gaz inertes : hélium, néon, argon, krypton, xénon et radon.

Les *molécules* sont la combinaison chimique de deux atomes ou plus. Les atomes peuvent être ceux d'un seul et même élément ; par exemple, une molécule d'oxygène atmosphérique (O_2) contient deux atomes d'oxygène. La plupart des molécules, cependant, contiennent deux

éléments distincts ou plus ; par exemple, une molécule d'eau (H_2O) contient deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène. Comme cela a été mentionné précédemment, quand deux éléments ou plus se combinent, la molécule qui en résulte peut être considérée aussi comme un composé.

Les composés contenant les éléments carbone et hydrogène sont dits *organiques*, et tous les autres sont dits *inorganiques*. Les tissus vivants sont formés de composés organiques, mais le corps a également besoin de composés inorganiques.

Liaisons covalentes et ioniques

Le vaste ensemble de processus chimiques sur lesquels le fonctionnement du corps repose dépend entièrement de la façon selon laquelle les atomes s'assemblent, se lient et se séparent. Par exemple, la simple molécule d'eau est un fondement crucial de toute vie sur Terre. Si l'eau était un composé moins stable, et si les atomes se séparaient facilement les uns des autres, la biologie humaine n'aurait jamais pu évoluer. Par ailleurs, l'organisme est dépendant de la rupture de diverses molécules (sucres, graisses, par exemple), scission qui libère de l'énergie utilisée par les activités cellulaires. Quand des atomes sont liés entre eux, ils forment une liaison chimique, généralement d'un des

deux types suivants : *covalent* ou *ionique*.

Les liaisons covalentes sont celles où des atomes ont en commun des électrons. La plupart des molécules sont maintenues ensemble par ce type de liaison ; cela forme un lien fort et stable entre les atomes qui les constituent. Une molécule d’eau est construite en utilisant des liaisons covalentes. L’hydrogène a un électron sur sa couche externe, mais le nombre optimal d’électrons sur cette couche est de deux. L’oxygène a six électrons sur sa couche externe, mais le nombre optimal d’électrons pour cette couche est de huit. Par conséquent, un atome d’oxygène et deux atomes d’hydrogène se combinent, chaque atome d’hydrogène partageant son électron avec l’atome d’oxygène, ce qui donne à ce dernier huit électrons sur sa couche externe, qui le rendent stable. L’atome d’oxygène partage l’un de ses électrons avec chacun des atomes d’hydrogène, si bien que chaque atome d’hydrogène a deux électrons sur sa couche externe, faisant que les deux atomes d’hydrogène sont stables également (Fig. 2.4).

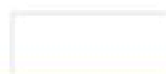


Figure 2.4 Molécule d’eau, avec ses liaisons covalentes entre l’hydrogène (en jaune) et l’oxygène (en vert).

Les liaisons ioniques sont plus faibles que les liaisons covalentes ; elles sont formées par le transfert d'électrons d'un atome à l'autre. Par exemple, quand le sodium (Na) se combine avec le chlore (Cl) pour former du chlorure de sodium (NaCl), le seul électron situé sur la couche externe de l'atome de sodium est transféré sur la couche externe de l'atome de chlore (Fig. 2.5).

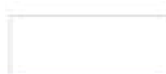


Figure 2.5 Formation du composé ionique chlorure de sodium.

De ce fait, l'atome de sodium du composé a huit électrons sur sa couche externe (qui est la seconde couche), et il est donc stable. L'atome de chlore a aussi huit électrons sur sa couche externe qui, bien que ne remplissant pas cette couche (NdT : 3e couche, pouvant contenir 18 électrons), constituent un nombre d'électrons suffisant pour assurer la stabilité de l'atome. L'atome de sodium est maintenant chargé positivement parce qu'il a libéré un électron chargé négativement, et l'ion chlorure est maintenant chargé négativement parce qu'il a accepté un électron de sodium supplémentaire. Les deux atomes sont par conséquent liés entre eux car ils portent des charges opposées, mutuellement attractives.

Quand le chlorure de sodium est dissous dans l'eau, la

liaison ionique se rompt et les deux atomes se séparent. Les atomes sont chargés parce qu'ils ont échangé des électrons ; on ne les appelle plus alors des atomes mais des *ions*. Le sodium, dont la charge est positive, est un *cation*, écrit Na^+, tandis que le chlore, chargé négativement, est un *anion*, écrit Cl^-. Par convention, le nombre de charges électriques d'un ion est indiqué par un chiffre précédant le signe plus ou moins (NdT : sauf si l'ion ne porte qu'une charge, comme Na^+ ou Cl^- ; ainsi, l'ion calcium est désigné par Ca^{2+}).

Électrolytes

Un composé ionique (par exemple le chlorure de sodium) dissout dans l'eau est appelé *électrolyte* parce qu'il conduit l'électricité. Les électrolytes sont d'importants constituants du corps car ils :

- conduisent l'électricité, ce qui est essentiel pour la fonction du muscle et celle du nerf ;
- exercent une pression osmotique gardant les liquides corporels dans leur propre compartiment ;
- agissent sur l'équilibre acidobasique comme tampons, afin de résister aux modifications du pH des liquides du corps.

De nombreux composés biologiques, tels les hydrates de carbone, présents dans l'organisme ne sont pas ioniques, et par conséquent ils n'ont pas de propriétés électriques quand ils sont dissociés dans l'eau ; c'est par exemple le cas des hydrates de carbone. Outre le sodium et le chlore, les électrolytes importants incluent le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}), le bicarbonate (HCO_3^-) et le phosphate .

Poids moléculaire

Le poids moléculaire d'une molécule est la somme des poids atomiques des éléments qui forment cette molécule ; par exemple :

Eau (H_2O)		
2 atomes d'hydrogène	(poids atomique 1)	2
1 atome d'oxygène	(poids atomique 16)	16
	Poids moléculaire	= 18
Bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$)		
1 atome de sodium	(poids atomique 23)	23
1 atome d'hydrogène	(poids atomique 1)	1
1 atome de carbone	(poids atomique 12)	12
3 atomes d'oxygène	(poids atomique 16)	48
	Poids moléculaire	= 84

Le poids moléculaire, comme le poids atomique, est exprimé simplement comme une grandeur, jusqu'à ce qu'une échelle de mesure soit utilisée.

Molarité

Le terme de molarité est le plus couramment utilisé pour exprimer la concentration de nombreuses substances présentes des liquides corporels.

La *mole* (mol) est le poids moléculaire en grammes d'une substance. Une mole d'une substance quelconque contient $6{,}023 \times 10^{23}$ molécules ou atomes. Par exemple, 1 mole de bicarbonate de sodium (l'exemple ci-dessus) est de 84 g.

Dans une *solution molaire* 1 mole d'une substance est dissoute dans 1 litre de solvant (liquide dissolvant). Dans l'organisme humain, le solvant est habituellement l'eau. Une solution molaire de bicarbonate de sodium est par conséquent préparée en dissolvant 84 g de bicarbonate de sodium dans 1 litre de solvant.

La concentration molaire peut être utilisée pour mesurer la quantité d'électrolytes, de non-électrolytes, d'ions et d'atomes, pourvu que le poids moléculaire de la substance soit connu. Cela signifie qu'une solution molaire d'une substance contient exactement le même nombre de

particules que tout autre solution molaire. Si le poids moléculaire d'une substance est inconnu, ou s'il y a plus d'une matière dans la solution, un autre système de mesure de la concentration doit être utilisé, comme les grammes par litre. Du fait des très petites quantités des nombreuses substances dissoutes dans les liquides corporels, les concentrations physiologiques sous souvent exprimées sous forme de fractions d'une mole : millimoles/litre (millièmes d'une mole) ou micromoles/litre (millionièmes d'une mole) (Tableau 2.2). Le tableau 2.3 fournit des exemples des taux plasmatiques normaux de certaines substances importantes, en concentrations molaires et en autres unités.

Tableau 2.2 Concentrations molaires

Unités de soluté	Quantité par litre de solvant
1 mole de molécules de chlorure de sodium (NaCl)	58,5 g
1 millimole de molécules de chlorure de sodium (NaCl)	0,0585 g (58,5 mg)
1 mole d'ions sodium	23 g
1 micromole d'ions sodium	0,000023 g (23 µg)
1 mole d'atomes de carbone	12 g
1 mole d'oxygène atmosphérique (O_2)	32 g

Tableau 2.3 Taux plasmatique normal de certaines substances

Substance	Taux en moles	Taux en autres unités
Chlore	97–106 mmol/l	97–106 mEq/l*
Sodium	135–143 mmol/l	135–143 mEq/l
Glucose	3,5–5,5 mmol/l	60–100 mg/100 ml
Fer	14–35 mmol/l	90–96 mg/100 ml

Poids équivalent =poids atomique/nombre de charges électriques

La concentration est exprimée comme suit :

mEq/l = mg/l × nombre de charges électriques

poids atomique

* Milliéquivalents par litre (mEq/l)

Acides, bases et pH

La concentration d'ions hydrogène ([H^+]) présents dans une solution est une mesure de l'acidité de la solution. Le contrôle des taux d'hydrogène dans les liquides corporels est un important facteur pour le maintien d'un environnement stable.

Une substance acide libère des ions hydrogène dans une solution. Par ailleurs, une substance de base (alcaline)

accepte des ions hydrogène, souvent avec la libération d'ions hydroxyl (OH^-). Un *sel* libère d'autres anions et cations lorsqu'il est dissous ; ainsi, le chlorure de sodium est un sel car, en solution, il libère des ions sodium et chlorure.

Échelle de pH

L'échelle standard pour la mesure de la concentration en ions hydrogène d'une solution est l'échelle de pH. Cette échelle va de 0 à 14, 7 étant neutre ; c'est le pH de l'eau. L'eau est une molécule neutre, ni acide ni alcaline, parce que lorsque la molécule se divise en ses ions constitutifs, elle libère un H^+ et un OH^-, qui s'équilibrent entre eux. La plupart des liquides corporels sont presque neutres, car des acides et des bases forts peuvent léser les tissus vivants. Les liquides corporels contiennent des *tampons*, eux-mêmes des acides et des bases faibles, afin de conserver leur pH dans d'étroites limites.

Un pH inférieur à 7 est celui d'une *solution acide,* alors qu'un pH supérieur à 7 est celui d'une *solution alcaline* (Fig. 2.6). Une modification de 1 du pH indique une concentration en ions hydrogène ($[H^+]$) multipliée ou divisée par 10. Par conséquent, une solution de pH 5 contient dix fois plus d'ions hydrogène qu'une solution de pH 6.

Figure 2.6 L'échelle de pH.

Tous les acides ne s'ionisent pas complètement quand ils sont dissous dans de l'eau. La concentration en ions hydrogène est donc une mesure de la quantité d'*acide dissocié* (acide ionisé) plutôt que de la quantité totale d'acide présent. Les acides forts sont plus dissociés que les acides faibles ; par exemple, l'acide chlorhydrique se dissocie librement en H^+ et Cl^-, alors que l'acide carbonique se dissocie beaucoup moins librement en H^+ et HCO_3^-.

De même, les bases ne se dissocient pas toutes complètement. Les bases fortes se dissocient davantage, c'est-à-dire libèrent plus de OH^- que les bases plus faibles.

Valeur du pH des liquides corporels

Le pH des liquides corporels doit être maintenu dans d'étroites limites en fonction du liquide concerné. Les valeurs normales de pH de certains liquides corporels sont indiquées dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 pH des liquides corporels

Liquide corporel	pH
Sang	7,35 à 7,45
Salive	5,4 à 7,5
Liquide gastrique	1,5 à 3,5
Bile	6 à 8,5
Urine	4,5 à 8

Le pH très acide du liquide gastrique est dû à l'acide chlorhydrique sécrété par les cellules pariétales de la paroi des glandes gastriques. Le pH bas de l'estomac détruit les microbes et les toxines pouvant être absorbés avec la nourriture ou les boissons. La salive a un pH entre 5,4 et 7,5, qui est la valeur optimale pour l'action de l'amylase salivaire, enzyme présente dans la salive, initiant la digestion des hydrates de carbone. L'amylase est détruite par l'acide gastrique quand elle atteint l'estomac.

Le pH sanguin est maintenu entre 7,35 et 7,45, et en dehors de cette fenêtre étroite, les processus physiologiques et biochimiques normaux sont gravement perturbés. L'activité métabolique normale des cellules corporelles produit certains acides et alcalins qui tendent à modifier le pH du liquide tissulaire et du sang. Des *tampons* chimiques sont chargés de maintenir la stabilité du pH corporel.

Tampons

Malgré la production cellulaire constante de substances acides et alcalines, la stabilité du pH corporel est maintenue par des systèmes de tampons chimiques dans les liquides et les tissus corporels. Ces mécanismes de tampons neutralisent temporairement les fluctuations du pH, mais ils ne peuvent fonctionner efficacement que s'il existe certains moyens permettant d'excréter hors du corps l'excès d'acide ou de base. Les organes les plus actifs à cet égard sont les *poumons* et les *reins*. Les poumons sont des régulateurs importants du pH sanguin car ils excrètent le dioxyde de carbone (CO_2). Le CO_2 augmente [H^+] dans les liquides corporels, car il se combine avec l'eau pour former de l'acide carbonique, qui se dissocie alors en ion bicarbonate et en ion hydrogène.



Les poumons permettent de contrôler le pH sanguin en régulant les taux de CO_2 excrétés. Le cerveau détecte l'élévation de [H^+] dans le sang et stimule la respiration, ce qui entraîne une augmentation de l'élimination de CO_2 et une chute de [H^+]. À l'inverse, si le pH sanguin devient trop

alcalin, le cerveau peut réduire le rythme respiratoire pour augmenter le taux sanguin de CO_2 et $[H^+]$, ramenant le pH vers la normale (voir Ch. 10).

Les reins régulent le pH sanguin en augmentant ou en diminuant, selon les besoins, l'excrétion d'ions hydrogène et bicarbonate. Si le pH chute, l'excrétion d'ions hydrogène est augmentée et celle d'ions bicarbonate maintenue ; l'inverse se produit si le pH augmente. De plus, les reins génèrent des ions bicarbonates comme sous-produits de la rupture amino-acide dans les tubes rénaux ; ce processus produit aussi des ions ammonium, qui sont rapidement excrétés.

Les autres systèmes tampons incluent les protéines corporelles, qui absorbent l'excès de H^+, et le phosphate, qui est particulièrement important pour contrôler le pH intracellulaire. Ensemble, les systèmes tampons et excrétoires de l'organisme maintiennent l'*équilibre acidobasique* de telle sorte que le pH sanguin reste dans les étroites limites de la normale.

Acidose et alcalose

Les systèmes tampons décrits ci-dessus compensent en grande partie les fluctuations du pH, mais ces réserves sont limitées et, dans les cas extrêmes, peuvent s'épuiser.

Quand le pH est au-dessous de 7,35 et que tous les tampons alcalins de la réserve ont été utilisés, il existe une *acidose*. Quand la situation inverse se produit, avec un pH au-dessus de 7,45, tandis que les bases accrues ont tamponné toute la réserve acide, il existe une *alcalose*.

L'acidose et l'alcalose sont toutes deux dangereuses pour le corps, en particulier le système nerveux central et le système cardiovasculaire. En pratique, les affections à l'origine d'une acidose sont plus fréquentes que celles qui provoquent une alcalose, étant donné que le corps tend à produire plus d'acides que d'alcalins. Une acidose peut survenir à la suite de problème respiratoire si les poumons n'excrètent pas aussi efficacement le CO_2 que normalement, ou bien si le corps produit trop d'acides (par exemple l'acidocétose diabétique, p. 245), ou encore en cas de pathologie rénale, si l'excrétion rénale de H^+ est diminuée. L'alcalose peut être provoquée par la perte de substances acides par des vomissements, des diarrhées, des troubles endocriniens ou un traitement diurétique, qui stimule l'augmentation de l'excrétion rénale. Rarement, elle peut être consécutive à une augmentation de l'effort respiratoire, comme dans une crise d'anxiété aiguë, un surcroît de CO_2 étant alors perdu du fait de l'hyperventilation (augmentation de l'air inspiré).

Molécules biologiques importantes

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- de décrire en termes simples la nature chimique des sucres, des protéines, des lipides, des nucléotides et des enzymes ;
- de discuter l'importance biologique de chacun de ces importants groupes de molécules.

Hydrates de carbone

Les hydrates de carbone (sucres et amidons) sont composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène. Les atomes de carbone sont normalement disposés en anneau, les atomes d'oxygène et d'hydrogène leur étant liés. La structure du glucose, du fructose et du saccharose est indiquée dans la figure 2.7. Quand deux sucres se combinent pour former un sucre plus grand, une molécule d'eau est expulsée, et la liaison constituée est appelée *liaison glycosidique*.



Figure 2.7 La combinaison de glucose et de fructose, donnant le saccharose.

Le glucose, principale forme de sucre utilisée par les cellules, est un *monosaccharide*. Les monosaccharides peuvent se lier entre eux pour former des sucres plus grands, dont la taille va de deux unités de sucre (*disaccharide*), comme le saccharose (Fig. 2.7) ou le sucre de table, à de longues chaînes faites de plusieurs milliers de monosaccharides, comme l'amidon. Les hydrates de carbone complexes sont appelés *polysaccharides*.

Le glucose peut être rompu (métabolisé) soit en présence d'oxygène (en *aérobiose*), soit en son absence (en *anaérobiose*), mais le processus est beaucoup plus efficace quand de l'O_2 est utilisé. Durant ce processus, de l'énergie, de l'eau et du dioxyde de carbone sont libérés (p. 326). Les sucres :

- fournissent une source d'énergie rapidement disponible pour le métabolisme cellulaire de combustion (p. 326) ;
- fournissent une forme de réserve d'énergie, telle que le glycogène (p. 327) ;
- forment une partie intégrale de la structure de l'ADN et de l'ARN (p. 455, 457) ;
- peuvent agir comme récepteurs sur la surface cellulaire, permettant à la cellule de reconnaître d'autres molécules

et d’autres cellules.

Acides aminés et protéines

Les acides aminés contiennent toujours du carbone, de l’hydrogène, de l’oxygène et de l’azote, et beaucoup ont en outre du soufre. En biochimie humaine, 20 acides aminés sont utilisés comme principaux blocs de construction des protéines, bien qu’il y en ait d’autres ; par exemple, des acides aminés ne sont utilisés que pour former certaines protéines, et d’autres ne sont vus que dans des produits microbiens. Les acides aminés utilisés dans la synthèse protéique des humains ont en commun une structure de base comprenant un groupement amino (NH_2), un groupement carboxyle (COOH) et un atome d’hydrogène. Une chaîne latérale variable fait qu’un acide aminé est différent d’un autre. La structure de base et trois acides aminés fréquents sont montrés dans la figure 2.8. Comme lors de la formation des liaisons glycosidiques, la réunion de deux acides aminés expulse une molécule d’eau, et la liaison qui en résulte est appelée *liaison peptidique*.

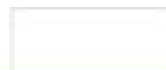


Figure 2.8 Structure d’acides aminés.

A. Structure commune ; R = chaîne latérale variable. **B.** Glycine, l’acide aminé le plus simple. **C.** Alanine. **D.** Phénylalanine.

Les protéines sont faites d'acides aminés réunis entre eux, et elles constituent la principale famille de molécules dont est construit le corps humain. La taille, la forme, la composition chimique et la fonction des protéines varient énormément. Beaucoup de substances biologiquement actives importantes sont des protéines ; il s'agit par exemple :

- des molécules de transport, comme l'hémoglobine (p. 63) ;
- d'enzymes (p. 25) ;
- de nombreuses hormones, par exemple l'insuline (p. 239) ;
- des anticorps (p. 394–395).

Les protéines peuvent être également utilisées comme source alternative d'énergie, habituellement en cas d'alimentation inadéquate, encore qu'elles soient beaucoup moins efficaces à cet égard que les hydrates de carbone et les graisses.

Lipides

Les lipides correspondent à un groupe de substances diverses dont la propriété courante est l'incapacité de se mélanger avec l'eau (c'est-à-dire qu'ils sont *hydrophobes*).

Ils sont constitués d’atomes de carbone, d’hydrogène et d’oxygène. Les groupes de lipides les plus importants comprennent :

• les *phospholipides*, formant une partie intégrale de la structure de la membrane cellulaire. Ils constituent une double couche, qui fournit une barrière imperméable séparant le contenu cellulaire de son environnement (p. 30) ;

• certaines vitamines (p. 288). Les vitamines liposolubles sont les A, D, E et K ;

• les *graisses* (*triglycérides*), stockées dans le tissu adipeux (p. 39) en tant que source d’énergie. La graisse isole aussi le corps et protège les organes internes. Une molécule de graisse contient trois acides gras liés à une même molécule de glycérol (Fig. 2.9). Quand de la graisse est rompue dans des conditions optimales, davantage d’énergie est libérée que lorsque le glucose est complètement rompu. Les graisses sont classées en *saturées* et *insaturées*, en fonction de la nature chimique des acides gras présents. Les graisses saturées tendent à être solides, tandis que les graisses insaturées sont liquides ;

• les *prostaglandines*, qui sont d’importantes substances

chimiques dérivées d'acides gras, et impliquées dans l'inflammation (p. 391) et d'autres processus ;

• le *cholestérol*, qui est un lipide produit dans le foie et disponible dans le régime alimentaire (p. 288). Il constitue une partie intégrale des membranes cellulaires et il est utilisé pour former des hormones stéroïdiennes (p. 232).

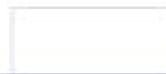


Figure 2.9 Structure d'une molécule de graisse (triglycéride).

Nucléotides

Acides nucléiques

Ce sont les plus grosses molécules du corps ; elles sont composées de nucléotides. Elles comprennent l'acide désoxyribonucléique (ADN, p. 455) et l'acide ribonucléique (ARN, p. 457).

Adénosine triphosphate (ATP)

L'ATP est un nucléotide qui contient du ribose (l'unité sucre), de l'adénine (la base) et trois groupements phosphate attachés au ribose (Fig. 2.10A). Il est parfois appelé unité d'énergie de l'organisme, ce qui implique que le corps doit le gagner (le synthétiser) avant de pouvoir le dépenser. Parmi l'énorme quantité de réactions se

produisant dans l'organisme, beaucoup libèrent de l'énergie, comme c'est le cas de la rupture des sucres en présence d'O_2. Le corps capte l'énergie libérée par ces réactions, et l'utilise pour faire de l'ATP à partir de l'adénosine diphosphate (ADP). Quand l'organisme a besoin d'énergie chimique pour alimenter les activités cellulaires, l'ATP libère son énergie emmagasinée, de l'eau et un groupement phosphate en rompant une liaison phosphate à haute énergie, et il retourne à l'état d'ADP (Fig. 2.10B).

Figure 2.10 ATP et ADP.

A. Structure. **B.** Cycle de conversion.

Le corps a besoin d'énergie chimique pour :

- réaliser des réactions de synthèse (c'est-à-dire pour édifier des molécules biologiques) ;
- alimenter le mouvement (locomotion) ;
- transporter des substances au travers des membranes cellulaires.

Enzymes

Beaucoup des réactions chimiques dans l'organisme peuvent être reproduites dans un tube à essai. De façon surprenante, la vitesse à laquelle les réactions se produisent alors tombe au niveau auquel, en pratique, l'activité chimique cesse. Les cellules du corps ont développé une solution à cet apparent problème : elles sont équipées d'un ensemble considérable d'enzymes. Les enzymes sont des protéines agissant comme *catalyseurs* de réactions biochimiques, c'est-à-dire qu'elles accélèrent la réaction sans être modifiées par celle-ci, si bien qu'elles peuvent être utilisées encore et encore. Les enzymes sont très sélectives, et ne catalysent habituellement qu'une réaction spécifique. La (les) molécule(s) entrant dans la réaction est (sont) appelée(s) substrat(s) ; elle(s) se lie(nt) à un site très spécifique de l'enzyme appelé *site actif*. Quand le(s) substrat(s) est (sont) liés(s) au site actif, la réaction se produit ; quand elle est terminée, le(s) produit(s) de la réaction se sépare(nt) de l'enzyme, et le site actif est à nouveau disponible (Fig. 2.11).

Figure 2.11 Action d'une enzyme.

A. Enzyme et substrats. **B.** Complexe enzyme–substrats. **C.** Enzyme et produit.

L'action des enzymes est réduite ou cesse si les

conditions ne conviennent pas. Une augmentation ou une diminution de la température peut réduire l'activité, comme c'est le cas de tout changement de pH. Certaines enzymes nécessitent la présence d'un *cofacteur*, un ion ou une petite molécule qui permet à l'enzyme de se lier à son (ses) substrat(s). Certaines vitamines sont des cofacteurs dans les réactions des enzymes.

Des enzymes peuvent catalyser à la fois des réactions de synthèse et de rupture ; leur nom se termine (presque toujours) par -ase. Lorsqu'une enzyme catalyse la combinaison de deux substrats, ou plus, pour former un produit plus grand, l'on appelle cela une *réaction anabolique*. Les *réactions cataboliques* impliquent la rupture du substrat en des produits plus petits, comme c'est le cas durant la digestion des aliments.

Mouvements de substances dans les liquides corporels

Objectifs pédagogiques

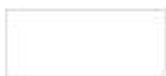
Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- de comparer et d'opposer les processus d'osmose et de diffusion ;
- d'utiliser ces concepts, de décrire comment les

molécules se déplacent dans et entre les compartiments corporels.

Le mouvement de substances à l'intérieur des liquides corporels et entre eux, parfois à travers une barrière telle que la membrane cellulaire, est essentiel dans le cadre de la physiologie normale.

D'un point de vue physiologique, les substances iront toujours du lieu de la plus forte concentration au lieu de la plus faible concentration, faisant ainsi présumer l'absence de barrière sur leur chemin. Entre ces deux lieux, il existe donc un *gradient de concentration*, et le mouvement des substances est *descendant* (NdT : dans le sens du gradient, qui va de la plus forte à la plus faible concentration), jusqu'à ce que les concentrations soient égales de chaque côté (l'*équilibre* est atteint). Aucune énergie n'étant nécessaire à un tel mouvement, ce processus est dit *passif*.



Il existe de nombreux exemples de substances qui, dans l'organisme, se déplacent dans le sens *ascendant*, c'est-à-dire contre le sens du gradient de concentration ; dans ce cas, de l'énergie chimique est nécessaire au déplacement, habituellement sous forme d'ATP. Un tel processus est dit *actif*. Le mouvement de substances à travers la membrane

cellulaire par transport actif est décrit p. 34.

Le mouvement passif de substances se fait habituellement par l'un ou l'autre de deux processus : la *diffusion* ou l'*osmose*.

Diffusion

La diffusion est le mouvement d'une substance chimique d'un lieu où sa concentration est la plus élevée à un lieu où sa concentration est la plus faible ; elle s'observe principalement dans les gaz, les liquides et les solutions. Les molécules de sucre entassées au fond d'une tasse de café non encore remué pourront, le moment venu, c'est-à-dire quand le café sera remué, être distribuées régulièrement à travers tout le café par diffusion (Fig. 2.12). Le processus de diffusion s'accélère si la température s'élève et/ou si la concentration de la substance qui diffuse augmente.

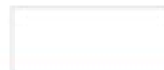


Figure 2.12 Le processus de diffusion : une cuillérée de sucre dans une tasse de café.

La diffusion peut aussi se produire à travers une membrane semi-perméable, telle que la membrane plasmique ou la paroi capillaire. Seules les molécules

capables de traverser la membrane vont pouvoir diffuser à travers elle. Par exemple, l'oxygène diffuse librement à travers les parois alvéolaires (sacs alvéolaires des poumons) quand les concentrations en oxygène sont élevées ; dans la circulation sanguine quand les concentrations en oxygène sont faibles. Cependant, les globules rouges et les grosses molécules protéiques sont trop volumineux pour le faire, et ils restent donc dans le sang.

Osmose

Alors que la diffusion de molécules de soluté à travers une membrane semi-perméable produit des concentrations de soluté équivalentes des deux côtés de la membrane, l'*osmose* renvoie spécifiquement au mouvement de l'eau dans le sens de son gradient de concentration. Cela est dû habituellement au fait que les molécules du soluté sont trop volumineuses pour passer par les pores de la membrane. La force faisant que l'osmose se produit est appelée *pression osmotique*. Imaginez deux solutions de sucre séparées par une membrane semi-perméable dont les pores sont trop petits pour laisser les molécules de sucre passer à travers. La solution de sucre est deux fois plus concentrée d'un côté que de l'autre. Après une certaine période, la concentration des molécules de sucre va devenir équivalente des deux côtés de la membrane, non

pas parce que les molécules de sucre ont diffusé à travers la membrane, mais parce que la pression osmotique à travers la membrane a expulsé l'eau de la solution de dilution vers la solution de concentration – c'est-à-dire que l'eau s'est déplacée dans le sens de son gradient de concentration. L'osmose se poursuit jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint, situation lors de laquelle les solutions de chaque côté de la membrane sont à la même concentration ; elles sont dites alors *isotoniques*. L'importance du contrôle étroit des concentrations de solutés dans les liquides corporels peut être illustrée en observant ce que subit une cellule (par exemple un globule rouge) lorsqu'elle est exposée à des solutions qui diffèrent de ce qui est rencontré dans les conditions physiologiques normales.

L'osmolarité plasmatique est maintenue dans des limites très étroites car, si la concentration de l'eau plasmatique s'élève, c'est-à-dire si le plasma devient plus dilué que le liquide intracellulaire à l'intérieur des globules rouges, l'eau se déplace en suivant son gradient de concentration, traversant la membrane des hématies et pénétrant à l'intérieur d'elles. Cela peut entraîner le gonflement et la rupture des globules rouges (NdT : l'hémolyse). Dans cette situation, le plasma est dit *hypotonique*. Inversement, si la concentration de l'eau plasmatique baisse, faisant que le

plasma devient plus concentré que le liquide intracellulaire à l'intérieur des hématies (le plasma est alors dit *hypertonique*), de l'eau se déplace passivement, par osmose, des hématies vers le plasma, et les hématies se rétrécissent (Fig. 2.13).



Figure 2.13 L'osmose.

Le mouvement net d'eau quand un globule rouge est en suspension dans des solutions de concentration (tonicité) variée. **A.** Solution isotonique. **B.** Solution hypotonique. **C.** Solution hypertonique.

Liquides corporels

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- de définir les expressions liquides intra- et extracellulaires ;
- en utilisant des exemples, d'expliquer pourquoi le contrôle homéostasique de la composition de ces liquides est vital pour les fonctions corporelles.

L'eau corporelle totale des adultes de constitution

moyenne atteint environ 60 % du poids du corps. Cette proportion est plus élevée chez les bébés, les personnes jeunes et les adultes dont le poids est inférieur à la moyenne. Elle est plus basse chez les personnes âgées et chez les obèses de tout âge. L'eau extracellulaire représente environ 22 % du poids corporel, et l'eau intracellulaire environ 38 % (Fig. 2.14).

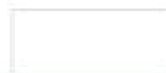


Figure 2.14 Distribution de l'eau corporelle chez une personne de 70 kg.

Liquide extracellulaire

Le sang, le plasma, la lymphe, le liquide cérébrospinal, les liquides des espaces interstitiels sont les principaux constituants du liquide extracellulaire (LEC). D'autres LEC sont présents en très petites quantités ; leur rôle consiste principalement à maintenir la lubrification. Ils comprennent le liquide articulaire (synovial), le liquide péricardique (autour du cœur) et le liquide pleural (autour des poumons).

Le liquide interstitiel, ou intercellulaire, baigne toutes les cellules du corps à l'exception de celles des couches superficielles de la peau. C'est le milieu par lequel passent les substances allant du sang aux cellules, et des cellules au sang. Chaque cellule corporelle en contact avec le LEC

dépend directement, pour son bien-être, de la composition de ce liquide. Des modifications même minimes peuvent entraîner des dommages permanents, et par conséquent la composition du LEC est étroitement contrôlée. Par exemple, un taux bas du potassium dans le plasma est responsable de faiblesse musculaire et d'arythmie cardiaque, en raison de l'excitabilité accrue des tissus musculaire et nerveux. L'élévation du potassium sanguin interfère aussi avec la fonction cardiaque, et elle peut même entraîner l'arrêt des battements du cœur. Le taux de potassium sanguin n'est qu'un des nombreux paramètres soumis à un ajustement constant, soigneux, par les mécanismes homéostasiques corporels.

Liquide intracellulaire

La composition du liquide intracellulaire (LIC) est largement contrôlée par la cellule elle-même, car des mécanismes sélectifs d'entrée et de sortie sont présents dans la membrane cellulaire. À certains égards, la composition du LIC est très différente de celle du LEC. Ainsi, le taux du sodium dans le LEC est presque dix fois celui du LIC. Cette différence de concentration est due au fait que, bien que le sodium diffuse dans la cellule dans le sens de son gradient de concentration, il y a dans la membrane plasmique une pompe qui l'en fait sortir à nouveau. Ce gradient de concentration est essentiel au fonctionnement des cellules

excitables (principalement celles du nerf et celles du muscle). Inversement, de nombreuses substances sont en quantité significativement plus élevée à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur de celle-ci, comme c'est le cas de l'ATP, des protéines et du potassium.

Chapitre 3

Les cellules, les tissus et l'organisation du corps

Les *cellules* sont les plus petites unités fonctionnelles du corps. Elles sont regroupées pour former des *tissus*, chacun ayant une fonction spécialisée, par exemple le sang, le muscle, l'os. Différents tissus sont regroupés pour former des *organes*, par exemple le cœur, l'estomac, le cerveau. Des organes sont regroupés pour former des *systèmes*, qui

assument chacun une fonction particulière maintenant l'homéostasie et contribuant à la santé de l'individu (voir Fig. 1.2, p. 5). Par exemple, le système digestif est responsable de l'ingestion des aliments, de leur digestion et de leur absorption ; il comprend divers organes, dont l'estomac et les intestins (intestin grêle et gros intestin). La structure et les fonctions des cellules ainsi que les types de tissus sont abordés dans ce chapitre.

La terminologie employée pour décrire les relations anatomiques des parties du corps, le squelette et les cavités de l'organisme est ensuite décrite.

La dernière section aborde les caractéristiques des tumeurs bénignes et malignes, leurs causes, leur mode de croissance et leur extension.

La cellule : structure et fonctions

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- de décrire la structure de la membrane plasmique ;
- d'expliquer les fonctions des principaux organites ;
- d'indiquer le processus de la mitose ;

- de comparer et d’opposer les transports actif, passif et en masse de substances à travers les membranes cellulaires.

Le corps humain se développe à partir d’une seule cellule appelée *zygote*, qui résulte de la fusion de l’ovule (cellule germinale femelle) et du spermatozoïde (cellule germinale mâle). La multiplication cellulaire suit et, tandis que le fœtus grandit, des cellules ayant des spécialisations structurales et fonctionnelles différentes se développent, ayant toutes la même constitution génétique que le zygote. Les cellules individuelles sont trop petites pour être vues à l’œil nu. Cependant, elles peuvent être vues quand de minces tranches de tissu sont colorées au laboratoire et agrandies par le microscope.

Une cellule comporte une *membrane plasmique*, qui la limite, et divers *organites* flottant dans un liquide aqueux appelé *cytoplasme* (Fig. 3.1). Les organites, littéralement « petits organes » , ont des fonctions particulières et hautement spécialisées, et sont souvent enfermés dans leur propre membrane au sein du cytoplasme. Ils comprennent : le *noyau*, les *mitochondries*, les *ribosomes*, le *réticulum endoplasmique*, l’*appareil de Golgi*, les *lysosomes*, et le *cytosquelette*.

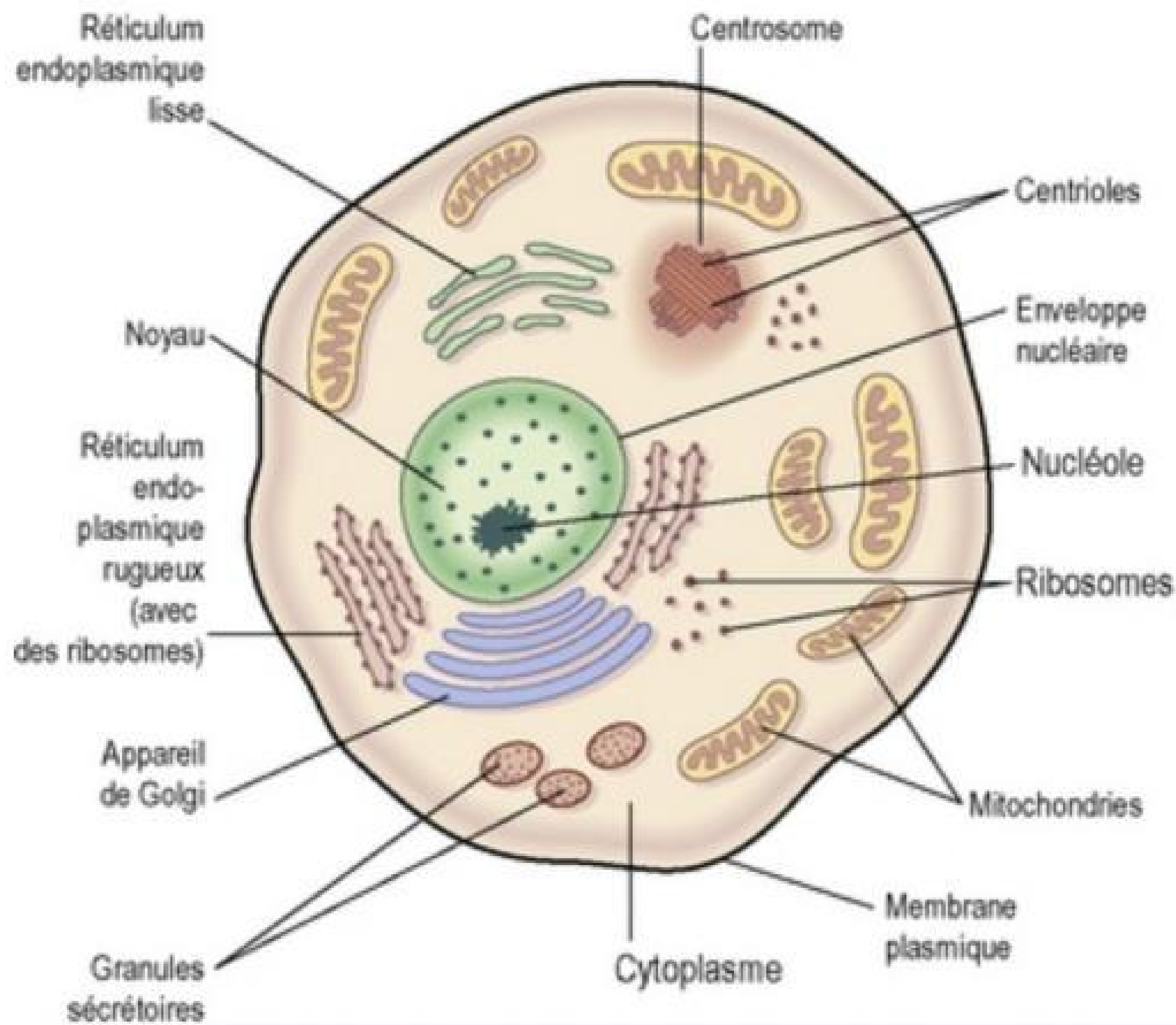


Figure 3.1 La cellule simple.

Membrane plasmique

La membrane plasmique (Fig. 3.2) est faite de deux couches de phospholipides (graisses, voir p. 24), avec quelques molécules protéiques et de sucre enchâssées dans ces couches. En plus des phospholipides, le *cholestérol*, qui est un lipide, est aussi présent dans la membrane plasmique. Ces protéines qui traversent toute l'épaisseur de la membrane constituent des canaux permettant le passage, par exemple, d'électrolytes et de substances

solubles non lipidiques. La figure 3.2B montre des molécules protéiques à la surface de la membrane plasmique.

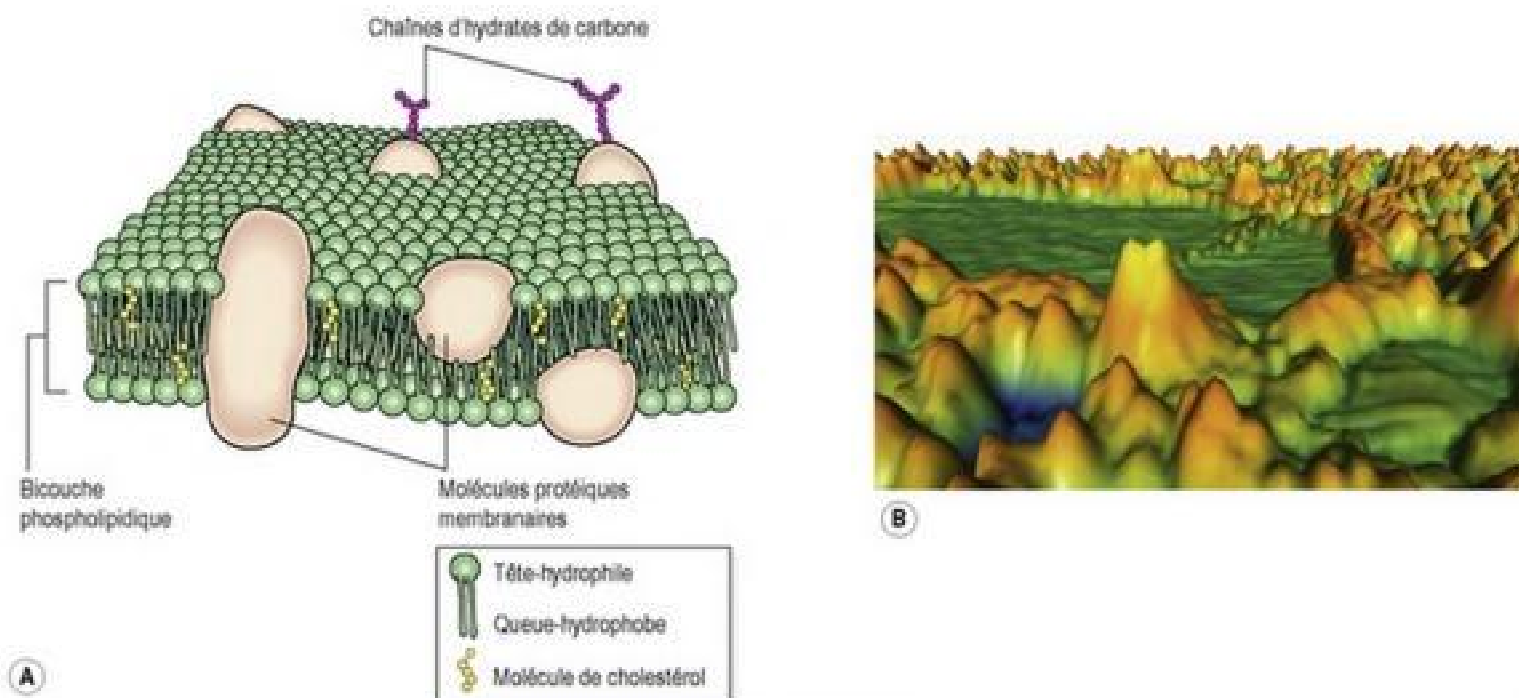


Figure 3.2 La membrane plasmique.

A. Schéma montrant la structure. **B.** Microscopie à force atomique en couleur de la surface montrant les protéines plasmatiques.

Les molécules phospholipidiques ont une tête, électriquement chargée et *hydrophile* (ce qui signifie aimant l'eau), et une queue, non chargée et *hydrophobe* (ce qui signifie haïssant l'eau, Fig. 3.2A). La bicouche phospholipidique est disposée comme un sandwich, avec les têtes hydrophiles alignées sur les faces superficielles de la membrane et les queues hydrophobes, formant une couche centrale repoussant l'eau. Ces différences

influencent le transfert de substances à travers la membrane.

Les protéines membranaires ont plusieurs fonctions :

• certaines molécules protéiques membranaires fixent par leur partie externe des molécules d'hydrates de carbone ramifiés, donnant à la cellule son identité immunologique ;

• elles peuvent agir comme récepteurs spécifiques (sites de reconnaissance) d'hormones et d'autres messagers chimiques ;

• certaines sont des enzymes (p. 25) ;

• certaines sont impliquées dans le transport à travers la membrane.

Organites

Noyau

Chaque cellule du corps a un noyau, à l'exception des érythrocytes matures. Les cellules du muscle squelettique et certaines autres cellules contiennent plusieurs noyaux. Le noyau est l'organite le plus volumineux ; il est limité à l'intérieur de l'*enveloppe nucléaire* par une membrane semblable à la membrane plasmique, mais avec de

minuscules pores au travers desquels certaines substances peuvent passer dans le *cytoplasme*, c'est-à-dire dans le contenu cellulaire à l'exception du noyau.

Le noyau contient le matériel génétique de l'organisme, qui dirige les activités de la cellule. Cela consiste en 46 *chromosomes*, composés à partir de l'acide désoxyribonucléique (ADN, p. 454). Mis à part durant la division cellulaire, les chromosomes ressemblent à un fin réseau de fibres appelé *chromatine*.

À l'intérieur du noyau se trouve une structure grossièrement sphérique appelée *nucléole*, qui participe à la fabrication (synthèse) et à l'assemblage des composants des ribosomes.

Mitochondries

Les mitochondries sont des structures, en forme de saucisse, situées dans le cytoplasme, décrites parfois comme le centre du pouvoir de la cellule (Fig. 3.3). Elles sont impliquées dans la respiration aérobie, processus par lesquels l'énergie chimique est rendue possible dans la cellule. Cette énergie est sous forme d'ATP ; celle-ci libère de l'énergie quand la cellule la scinde (voir Fig. 2.10, p. 25). La synthèse de l'ATP est la plus efficace aux stades terminaux de la respiration aérobie, processus requérant de l'oxygène (p. 327). Les types de cellules les plus actifs

possèdent le plus grand nombre de mitochondries, par exemple le foie, le muscle et le spermatozoïde.



Figure 3.3 Mitochondrie et réticulum endoplasmique rugueux.

Microscopie à balayage électronique en fausse couleur montrant une mitochondrie (en orange) et du réticulum endoplasmique rugueux (en turquoise) parsemé de ribosomes (points).

Ribosomes

Ce sont de minuscules granules faits d'ARN et de protéines. Ils synthétisent les protéines à partir d'acides aminés en

utilisant l'ARN comme matrice (voir Fig. 17.5, p. 457). Quand ils sont sous forme d'unités libres ou en petits amas dans le cytoplasme, les ribosomes fabriquent des protéines destinées à être utilisées à l'intérieur même de la cellule. Cela inclut les enzymes requises pour le métabolisme. Les voies métaboliques consistent en une série d'étapes, chacune étant stimulée par une enzyme spécifique. Des ribosomes sont également présents à la face superficielle du réticulum endoplasmique rugueux (voir Fig. 3.3 et plus loin), où ils produisent des protéines destinées à être exportées (expulsées) hors de la cellule.

Réticulum endoplasmique

Le réticulum endoplasmique (RE) est constitué d'une importante série de canaux membraneux intracytoplasmiques, connectés entre eux (Fig. 3.3). Il y en a deux types : lisse et rugueux. Le RE lisse synthétise les lipides et les hormones stéroïdiennes, et il intervient également dans la détoxification de certains médicaments. Certains des lipides servent à remplacer et réparer la membrane plasmique ainsi que les membranes des organites. Le RE rugueux est clouté de ribosomes. Ceux-ci sont le siège de la synthèse des protéines, certaines d'entre elles étant exportées (expulsées) hors de la cellule, c'est-à-dire des enzymes et des hormones qui quittent leurs

cellules parentales par exocytose (p. 36) afin d'être utilisées ailleurs.

Appareil de Golgi

L'appareil de Golgi est fait d'empilements de sacs membraneux aplatis étroitement repliés (Fig. 3.4). Il est présent dans toutes les cellules, mais il est plus volumineux dans celles qui synthétisent et exportent des protéines. Les protéines quittent le réticulum endoplasmique pour atteindre l'appareil de Golgi, où elles sont empaquetées dans des vésicules liées à la membrane appelées *granules sécrétoires* (NdT : ou granules de sécrétion). Les vésicules sont emmagasinées et, en cas de besoin, elles se déplacent vers la membrane plasmique et fusionnent avec elle. Le contenu peut ensuite quitter la cellule par exocytose (p. 36).

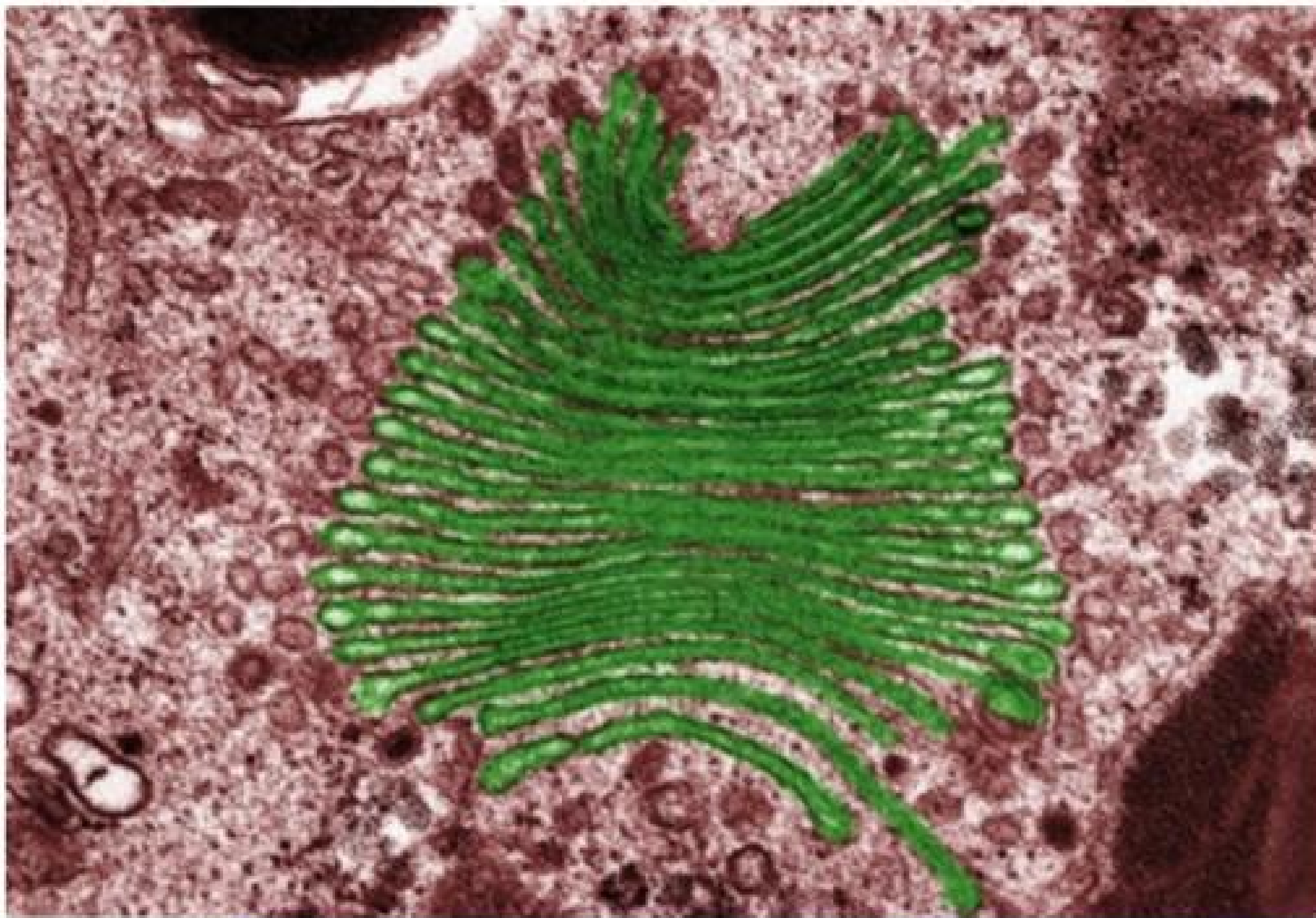


Figure 3.4 Microscopie à balayage électronique en couleur montrant l'appareil de Golgi (en vert).

Lysosomes

Les lysosomes sont une variété de vésicules sécrétoires avec des parois membraneuses, qui sont formées par l'appareil de Golgi. Ils contiennent diverses enzymes impliquées dans la rupture de fragments d'organites et de grosses molécules (ARN, ADN, hydrates de carbone, protéines, par exemple) à l'intérieur de la cellule en des particules plus petites, qui sont soit recyclées, soit expulsées de la cellule en tant que déchets.

Les lysosomes des leucocytes contiennent des enzymes qui digèrent le matériel étranger, tel que des microbes.

Cytosquelette

Le cytosquelette consiste en un réseau étendu de fibres protéiques minuscules (Fig. 3.5).

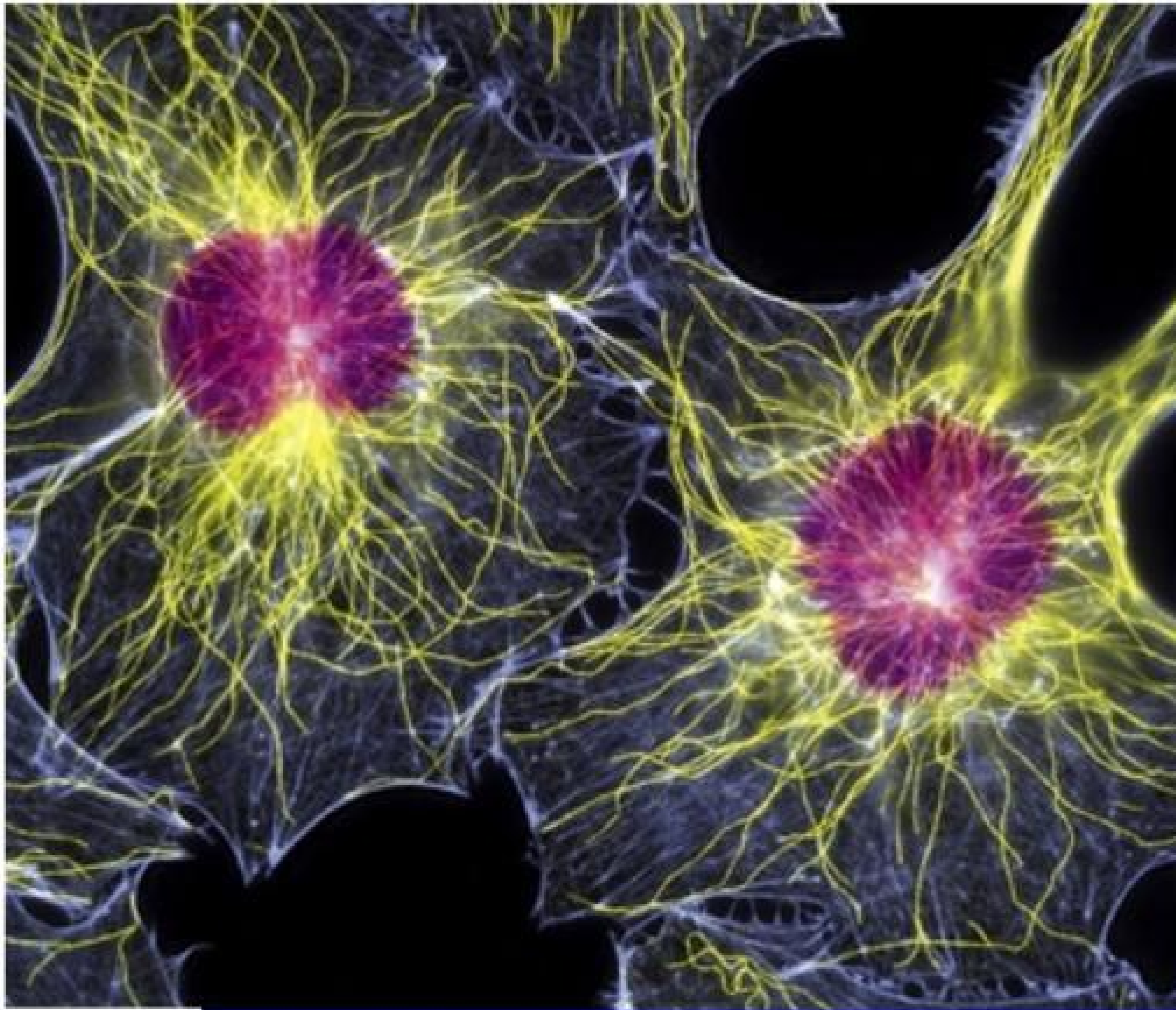


Figure 3.5 Fibroblastes.

Microscopie en fluorescence montrant trois noyaux (en violet) et leurs cytosquelettes (en jaune et bleu).

Microfilaments

Ce sont les plus petites fibres. Celles-ci fournissent à la cellule son support structural, maintiennent ainsi sa forme

caractéristique et permettent la contraction, par exemple dans les cellules des muscles.

Microtubules

Il s'agit de volumineuses fibres protéiques contractiles, qui sont impliquées dans le mouvement :

- des organites à l'intérieur de la cellule ;
- des chromosomes durant la division cellulaire ;
- des extensions cellulaires (voir ci-après).

Centrosome

Il dirige l'organisation des microtubules à l'intérieur de la cellule. Il consiste en une paire de *centrioles* (petits amas de microtubules) et joue un rôle important durant la division cellulaire.

Extensions cellulaires

Celles-ci se projettent à partir de la membrane plasmique dans certains types de cellules ; leurs principaux composants sont les microtubules, qui permettent le mouvement. Elles comprennent :

- des microvillosités. Ce sont de minuscules projections qui contiennent des microfilaments. Elles recouvrent la

surface de certains types de cellules, par exemple les cellules absorbantes qui bordent l'intestin grêle (Fig. 3.6). En augmentant considérablement la surface totale, les microvillosités rendent la structure de ces cellules idéale pour remplir leur fonction – l'absorption des nutriments à partir de l'intestin grêle est ainsi optimisée ;

• des cils. Ce sont de microscopiques projections semblables aux cheveux contenant des microtubules qui sont situées le long des bords libres de certaines cellules (voir Fig. 10.12, p. 251). Ils battent ensemble, déplaçant des substances le long de la surface, par exemple du mucus vers le tractus respiratoire ;

• des flagelles. Il s'agit de longues projections uniques en forme de fouet, contenant des microtubules, qui forment les queues de spermatozoïdes (voir Fig. 1.17, p. 14), ce qui permet leur déplacement dans l'appareil reproducteur féminin.

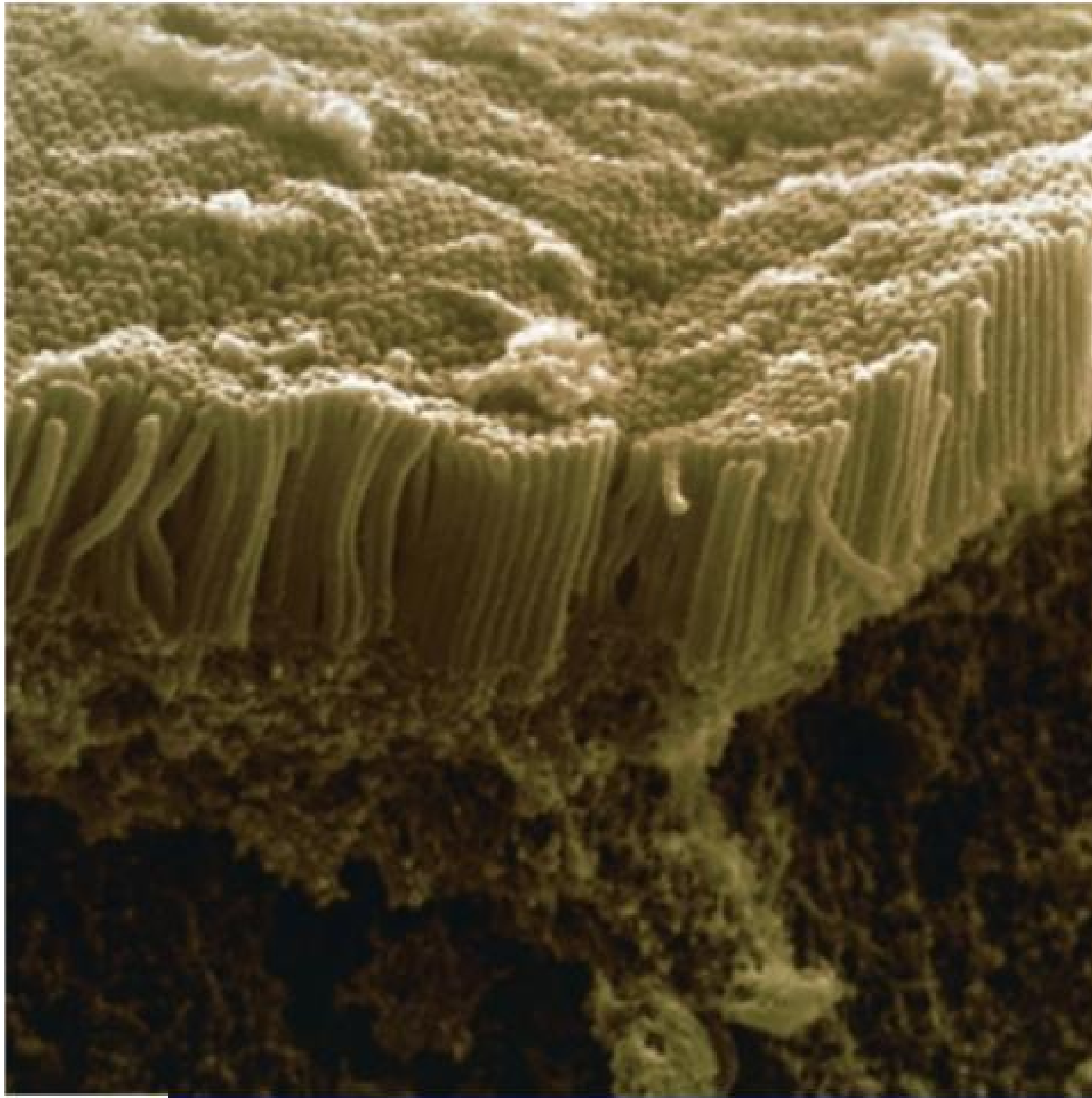


Figure 3.6 Microscopie à balayage électronique en couleur de microvillosités dans l'intestin grêle.

Cycle cellulaire

De nombreuses cellules lésées, mortes et épuisées peuvent être remplacées grâce à la croissance et la division d'autres cellules similaires. La plupart des cellules corporelles ont 46 chromosomes et se divisent par *mitose*, un processus qui génère deux nouvelles cellules filles, identiques génétiquement. La seule exception à ce processus est la

formation des *gamètes* (cellules sexuées), c'est-à-dire les ovules et les spermatozoïdes, qui intervient au cours de la *méiose* (voir p. 459), et les quatre cellules filles sont génétiquement différentes de leurs cellules parentales et entre elles.

La période entre deux divisions cellulaires est appelée le *cycle cellulaire*, qui est composé de deux phases visibles en microscopie classique : la mitose (phase M) et l'*interphase* (Fig. 3.7).

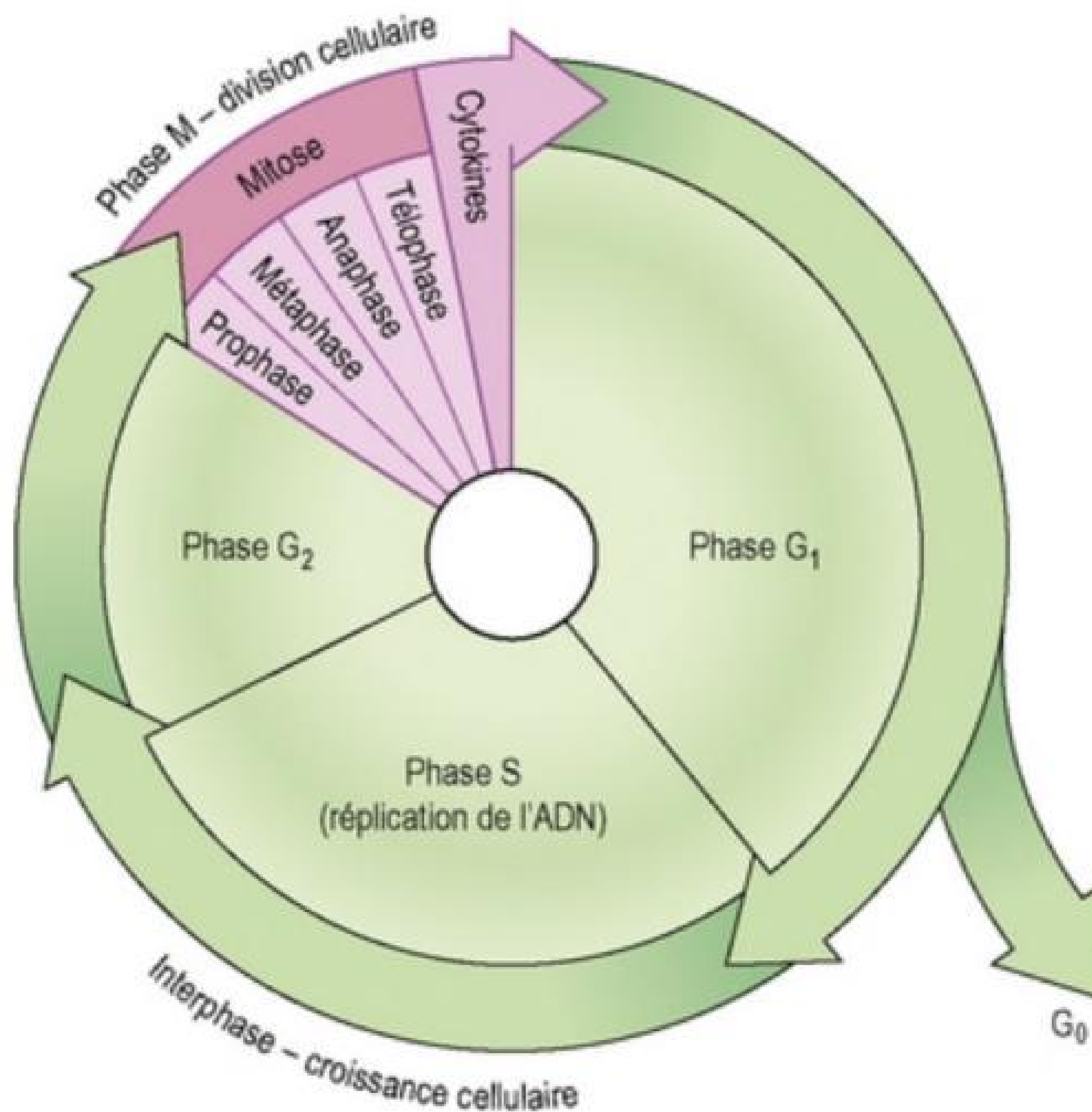


Figure 3.7 Le cycle cellulaire.

Interphase

Cette phase est la plus longue. Il existe trois différents stades :

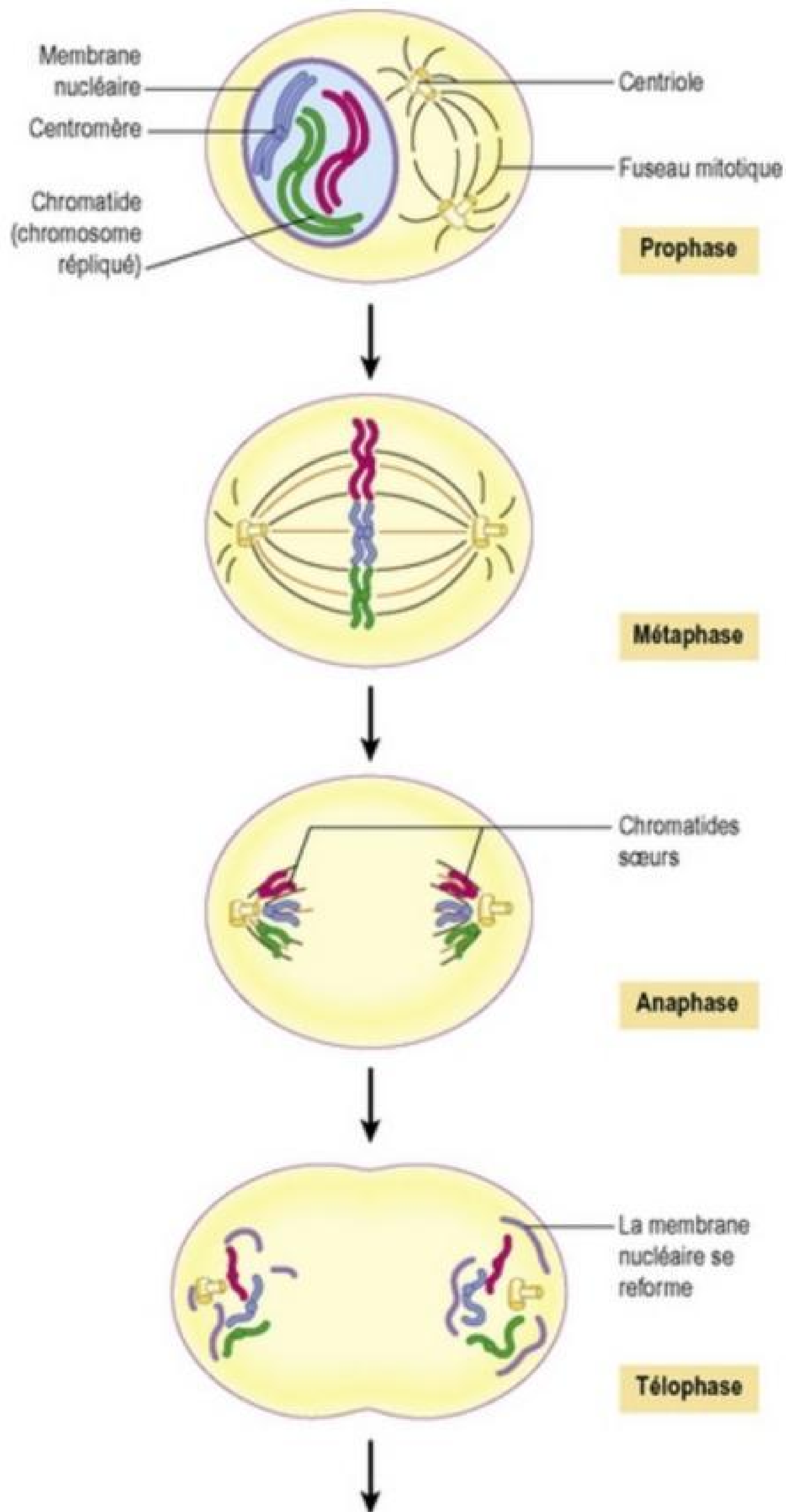
- la phase G_1 (pour *gap*) : la cellule croît en taille et en volume. C'est habituellement la phase la plus longue et dont la durée est la plus variable. Parfois, les cellules ne poursuivent pas le cycle cellulaire, pour entrer dans une phase quiescente (G_0) ;

- la synthèse de l'ADN (phase S) : les chromosomes se répliquent, formant deux copies d'ADN identiques (voir p. 459). Par conséquent, après la phase S, la cellule dispose de 92 chromosomes, c'est-à-dire qu'il y a assez d'ADN pour deux cellules, et elle est presque prête à se diviser par mitose ;

- la phase G_2 : la croissance et la préparation à la division cellulaire se poursuivent.

Mitose (Fig. 3.8 et 3.9)

La mitose est un processus continu, comprenant quatre phases distinctes, pouvant être observées en microscopie classique.


Membrane
nucléaire
Centromère
Chromatide
(chromosome
répliqué)
Centriole
Fuseau mitotique
Prophase
Métaphase
Chromatides
sœurs
Anaphase
La membrane
nucléaire se
reforme
Télophase

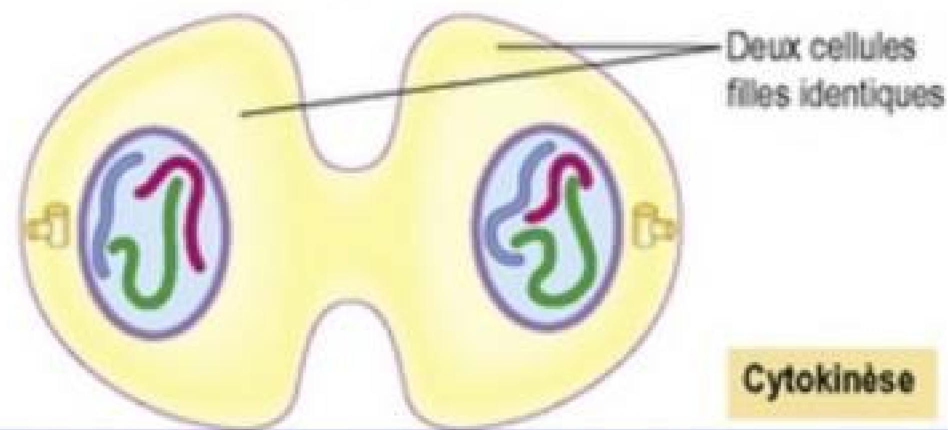


Figure 3.8. Les phases de la mitose.

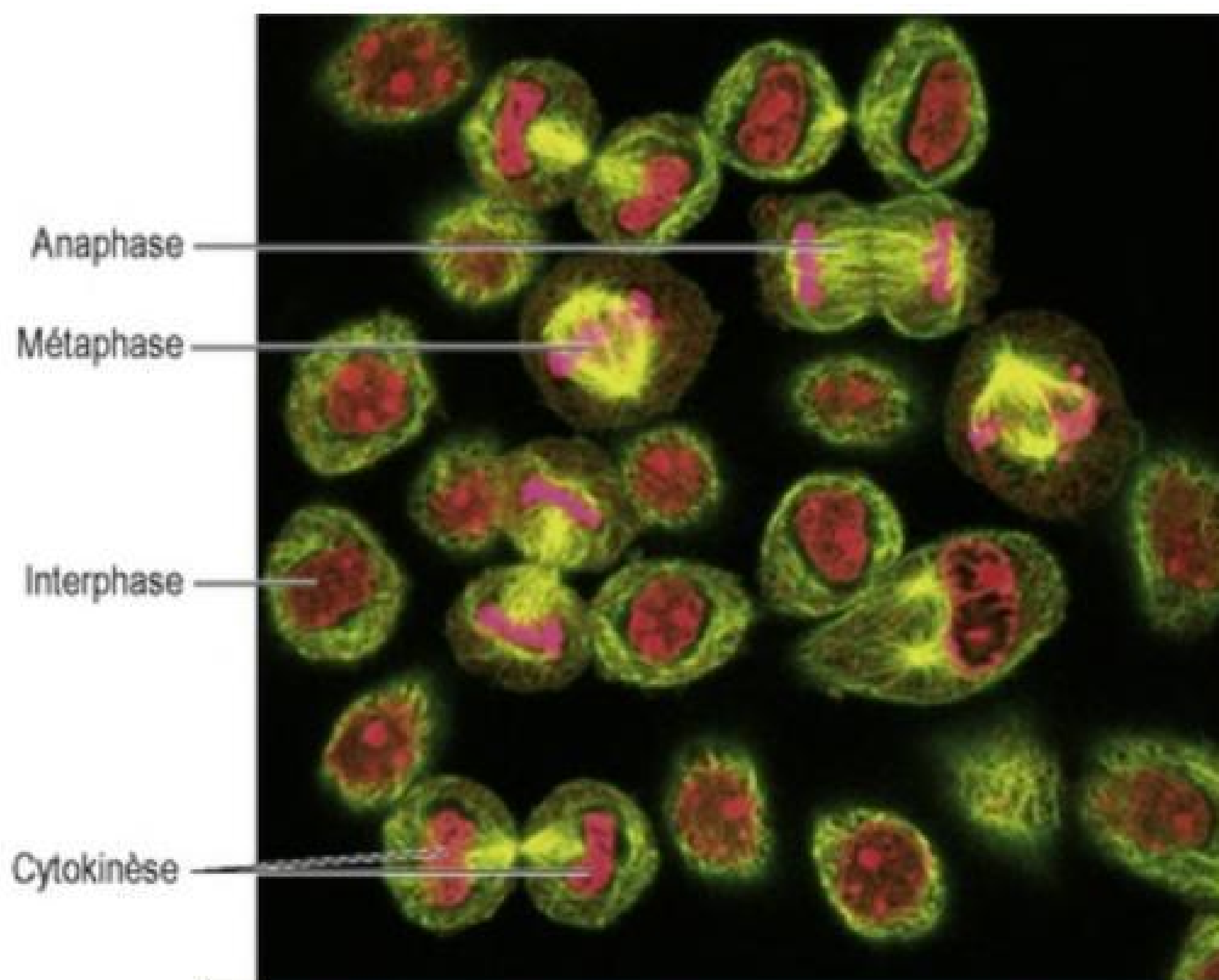


Figure 3.9 La mitose.

Microscopie classique montrant des cellules à différents stades de la reproduction, la chromatine/les chromatides figurant en rose.

Prophase

Durant cette phase, la chromatine répliquée devient étroitement enroulée, et plus facile à observer au microscope. Chacun des 46 chromosomes orignaux (appelé *chromatide* à ce stade) est pair, avec sa copie dans une unité chromosomique double. Les deux chromatides se rejoignent dans le *centromère* (Fig. 3.8) L'*appareil mitotique* apparaît. Il consiste en deux *centrioles* séparés par le *fuseau mitotique*, qui est formé à partir de microtubules. Les centrioles migrent, un à chaque terminaison de la cellule, et l'enveloppe nucléaire disparaît.

Métaphase

Les chromatides s'alignent au centre du fuseau, attachés par leurs centromères.

Anaphase

Les centromères se séparent, et parmi chacune des paires de chromatides sœurs (maintenant de nouveau appelés chromosomes), une migre vers chaque terminaison du fuseau, tandis que les microtubules formant le fuseau mitotique se contractent.

Télophase

Le fuseau mitotique disparaît, les chromosomes se déroulent et l'enveloppe nucléaire se reforme.

Après la télophase se produit la *cytokinèse* : le cytoplasme, les organites intracellulaires et la membrane plasmique se divisent, formant deux cellules filles identiques. Les organites des cellules filles sont incomplets à la fin de la division cellulaire, mais ils se développent durant l'interphase.

La fréquence avec laquelle la division cellulaire se produit dépend du type de la cellule (p. 43).

Transport de substances à travers les membranes cellulaires

La structure de la membrane plasmique lui fournit la propriété de *perméabilité sélective*, ce qui signifie que toutes les substances ne peuvent pas la traverser. Celles qui le peuvent le font de différentes manières, en fonction de leur taille et de leurs caractéristiques.

Transport passif

Le transport passif se produit quand des substances peuvent traverser les membranes semi-perméables plasmiques et des organites, et se déplacer dans le sens du gradient de concentration, sans utiliser de l'énergie.

Diffusion

La diffusion a été décrite p. 26. De petites molécules

diffusent dans le sens du gradient de concentration :

- des substances liposolubles telles que l'oxygène, le dioxyde de carbone, les acides gras et les stéroïdes traversent la membrane en se dissolvant dans la partie lipidique de la membrane ;

- de petites substances hydrosolubles telles que le sodium, le potassium et le calcium traversent la membrane en passant dans des canaux remplis d'eau.

Diffusion facilitée

Ce processus passif est utilisé par certaines substances incapables de diffuser sans aide au travers d'une membrane semi-perméable, comme c'est le cas du glucose et des acides aminés. Des molécules porteuses protéiques spécialisées situées dans la membrane ont des sites spécifiques attirant et liant les substances à transférer, comme un mécanisme de clé et de serrure. Le transporteur modifie alors sa forme, et dépose la substance de l'autre côté de la membrane (Fig. 3.10). Les sites du transporteur sont spécifiques, et ils ne peuvent être utilisés que par une seule substance. Comme le nombre de transporteurs est limité, la quantité de substance susceptible d'être transportée à un moment donné est limitée. Elle est appelée *transport maximal.*

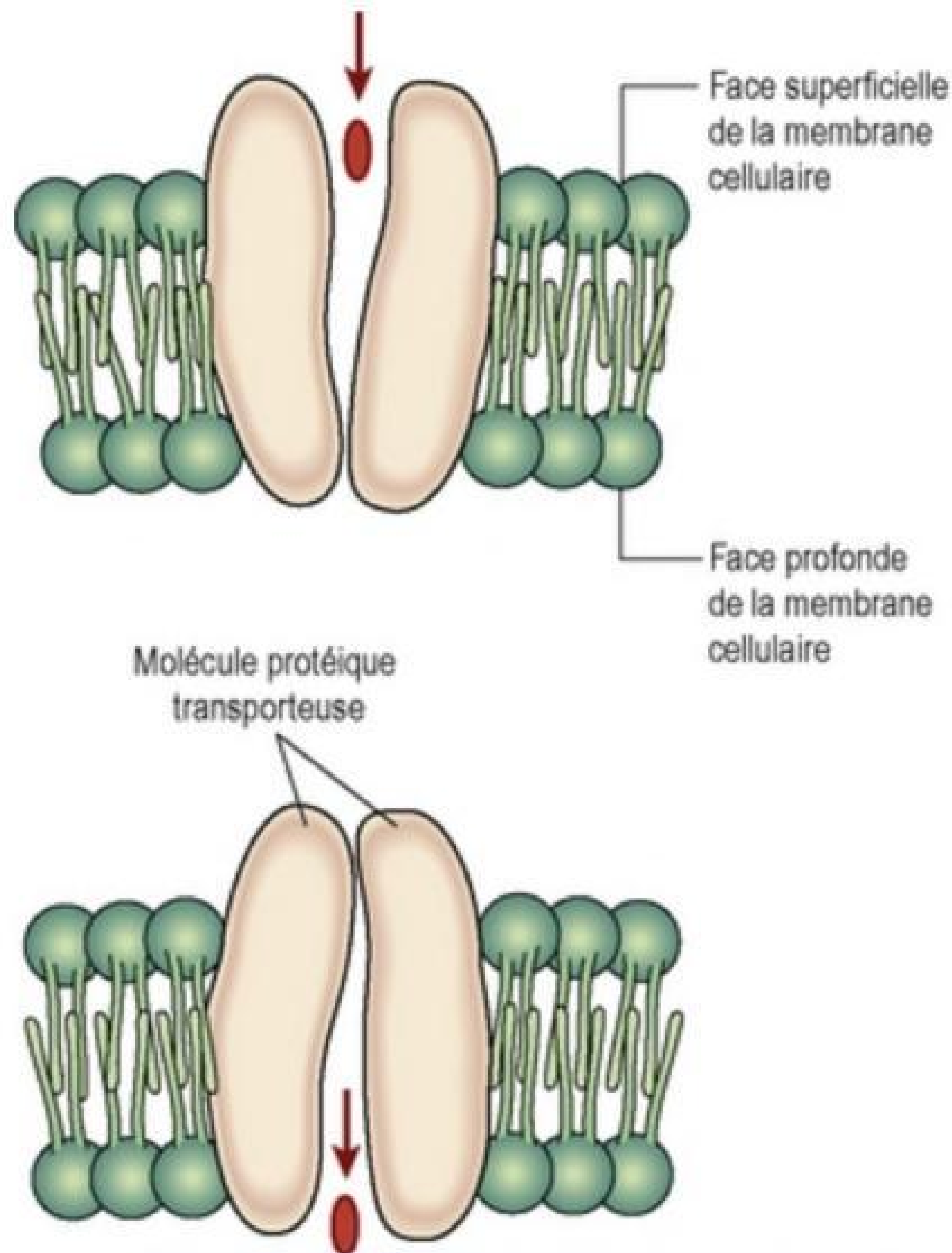


Figure 3.10 Molécules protéiques transporteuses spécialisées impliquées dans la diffusion facilitée et le transport actif.

Osmose

L'osmose est le mouvement passif de l'eau dans le sens de son gradient de concentration au travers d'une membrane semi-perméable jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint ; elle est expliquée p. 26.

Transport actif

C'est le transport de substances contre le sens de leur gradient de concentration, c'est-à-dire de la concentration la plus basse à la concentration la plus élevée. L'énergie chimique sous forme d'ATP (p. 24) dirige des molécules porteuses protéiques spécialisées, qui transportent les substances à travers la membrane dans chaque direction (voir Fig. 3.10). Les sites du transporteur sont spécifiques, et ils ne peuvent être utilisés que par une seule substance ; par conséquent, le rythme du transfert d'une substance dépend du nombre de sites disponibles.

Pompe sodium–potassium

Ce mécanisme de transport actif maintient l'inégalité des concentrations de sodium (Na^+) et de potassium (K^+) de chaque côté de la membrane plasmique. Il peut utiliser jusqu'à 30 % de l'ATP nécessaire au métabolisme cellulaire.

Les taux de potassium sont bien plus élevés à l'intérieur qu'à l'extérieur de la cellule – c'est le principal cation intracellulaire. Les taux de sodium sont bien plus élevés à l'extérieur qu'à l'intérieur de la cellule – c'est le principal cation extracellulaire. Ces ions tendent à diffuser leur gradient de concentration, K^+ vers l'extérieur de la cellule,

et Na^+ vers l'intérieur. Afin de maintenir leurs gradients de concentration, le Na^+ en excès est constamment expulsé à travers la membrane cellulaire en échange de K^+ extracellulaire.

Transport en masse (Fig. 3.11)

Le transfert de particules trop volumineuses pour traverser les membranes cellulaires se fait par *pinocytose*, ou *phagocytose*. Ces particules sont englobées par des expansions du cytoplasme (voir Fig. 15.1, p. 390), qui les entourent pour former une vacuole limitée par une membrane. La pinocytose se produit quand la vacuole est petite. Dans la phagocytose, des particules volumineuses (par exemple des fragments cellulaires, des matériels étrangers, des microbes) sont englobées dans la cellule. Des lysosomes adhèrent alors à la membrane de la vacuole, libérant des enzymes qui digèrent son contenu.

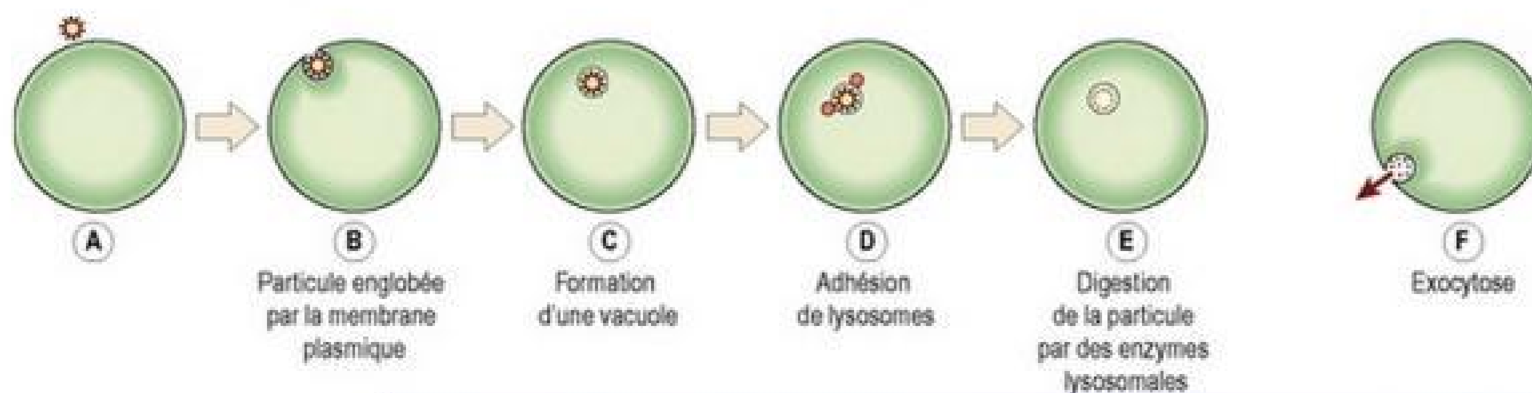


Figure 3.11 Transport en bloc à travers les membranes plasmiques.

A–E. Phagocytose. F. Exocytose.

L'export de matériel de déchet par le processus inverse à travers la membrane plasmique est appelé *exocytose*. Les granules de sécrétion formés par l'appareil de Golgi quittent la cellule habituellement de cette façon, comme le fait tout résidu de la phagocytose ne pouvant être digéré.

Tissus

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

■ de décrire la structure et les fonctions des tissus épithélial, conjonctif et musculaire ;

■ d'indiquer la structure et les fonctions des membranes ;

■ de comparer et d'opposer la structure et les fonctions des glandes exocrines et celles des glandes endocrines.

Les tissus corporels sont faits d'un grand nombre de cellules ; ils sont classés selon la taille, la forme et les fonctions de ces cellules. Il existe quatre principaux types de tissus. Ce sont :

- le tissu épithélial, ou épithélium ;
- le tissu conjonctif ;

• le tissu musculaire ;

• le tissu nerveux.
Chacun a des sous-types.

Tissu épithélial (Fig. 3.12)

Ce type de tissu recouvre le corps, et borde les cavités, les organes creux ainsi que les conduits corporels. Il est également présent dans les glandes. La structure d'un épithélium est étroitement liée à ses fonctions, qui sont :

• la protection des structures sous-jacentes contre, par exemple, la déshydratation, les agressions chimiques ou mécaniques ;

• la sécrétion ;

• l'absorption.

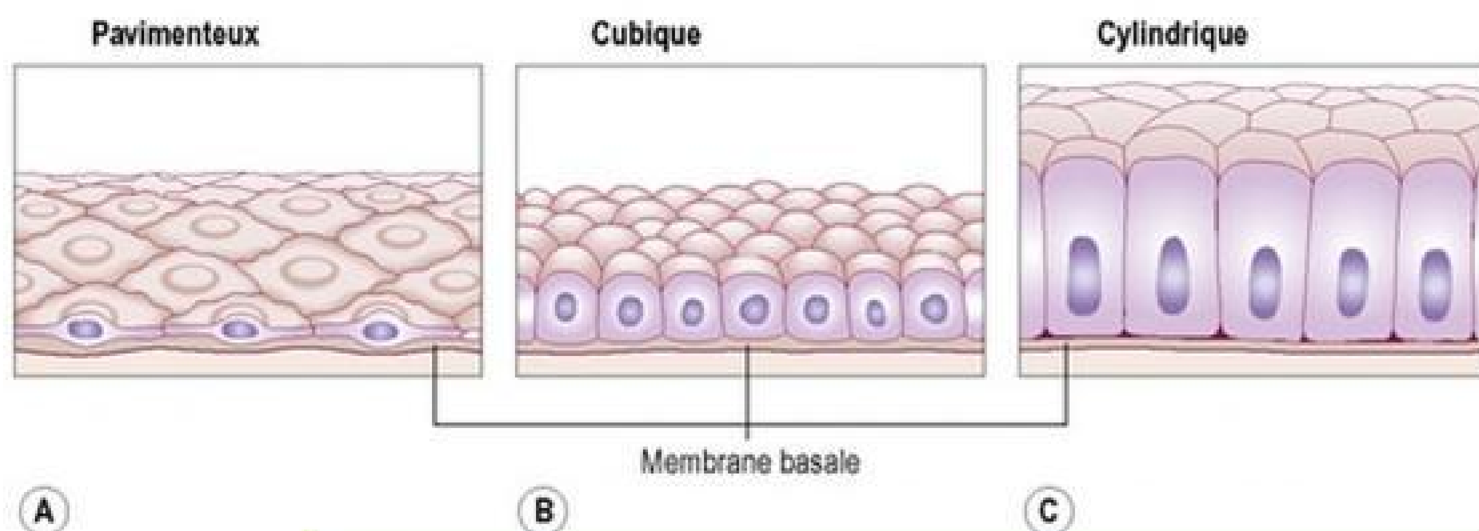


Figure 3.12 Épithélium simple.

A. Pavimenteux. B. Cubique. C. Cylindrique.

Les cellules sont très étroitement réunies et la substance intercellulaire, appelée *matrice*, est minimale. Les cellules reposent habituellement sur une *membrane basal*e, qui est un tissu conjonctif inerte, composé des cellules épithéliales elles-mêmes.

Le tissu épithélial peut être :

- *simple,* fait d'une seule couche de cellules ;
- *stratifié,* fait de plusieurs couches de cellules.

Épithélium simple

L'épithélium simple consiste en une seule couche de cellules identiques ; il en existe quatre variétés. Il est habituellement présent sur les surfaces absorbantes ou sécrétrices, où la couche cellulaire stimule ces processus, et il n'est généralement pas présent sur les surfaces exposées à l'agression. Les variétés sont désignées en fonction de la forme des cellules, qui diffère selon leurs fonctions. Plus le tissu est actif, plus les cellules sont grandes.

Épithélium pavimenteux (squameux) simple

Cet épithélium est fait d'une seule couche de cellules aplaties (Fig. 3.12A). Les cellules s'adaptent étroitement les unes aux autres comme des pierres plates, formant une

membrane mince et très lisse, à travers laquelle la diffusion se produit librement. Cette membrane borde les structures suivantes :

- le cœur – où elle est appelée endocarde
- les vaisseaux sanguins } où l'épithélium est aussi
- les vaisseaux lymphatiques appelé endothélium
- les alvéoles du poumon
- les tubules collecteurs des néphrons rénaux (voir Fig. 13.9, p. 355).

Épithélium cubique simple

Cet épithélium est fait de cellules de forme cubique (NdT : carrée à la coupe) s'adaptant étroitement les unes aux autres, reposant sur une membrane basale (Fig. 3.12B). Il forme les tubules du rein, et il est présent dans certaines glandes. L'épithélium cubique est activement impliqué dans la sécrétion, l'absorption et l'excrétion.

Épithélium cylindrique simple

Cet épithélium est formé par une seule couche de cellules, rectangulaires à la coupe (NdT : plus hautes que larges, dites aussi prismatiques), sur une membrane basale (Fig.

3.12). Il borde de nombreux organes et subit souvent des adaptations pour convenir à une fonction spécifique. Le bord de l'estomac est composé d'épithélium cylindrique simple sans structures de surface. La surface de l'épithélium cylindrique bordant l'intestin grêle est recouverte de microvillosités (Fig. 3.6). Les microvillosités fournissent une très grande surface pour l'absorption des nutriments depuis l'intestin grêle. Dans la trachée, l'épithélium cylindrique est cilié (voir Fig. 10.12, p. 257), et il fournit aussi des cellules caliciformes qui sécrètent du mucus (voir Fig. 12.5, p. 300). Cela signifie que, dans les voies respiratoires, les particules inhalées qui adhèrent à la muqueuse sont déplacées vers la gorge grâce aux cils (p. 257). Dans les trompes utérines, les ovocytes sont propulsés vers l'utérus par l'action ciliaire.

Épithéliums stratifiés

Les épithéliums stratifiés sont faits de plusieurs couches de cellules de formes variées. La division cellulaire continue dans les couches inférieures (basales) pousse les cellules toujours plus près de la surface, où elles desquament. Il n'y a pas habituellement de membrane basale. La principale fonction d'un épithélium stratifié est de protéger les structures sous-jacentes de l'usure mécanique. Il en existe deux principaux types : pavimenteux stratifié et

transitionnel.

Épithélium pavimenteux stratifié (Fig. 3.13)

Cet épithélium est fait d'un certain nombre de couches de cellules. Dans les couches les plus profondes, les cellules sont principalement cylindriques et, en grandissant tout en se rapprochant de la surface, elles deviennent aplaties (NdT : pavimenteuses), puis desquament.

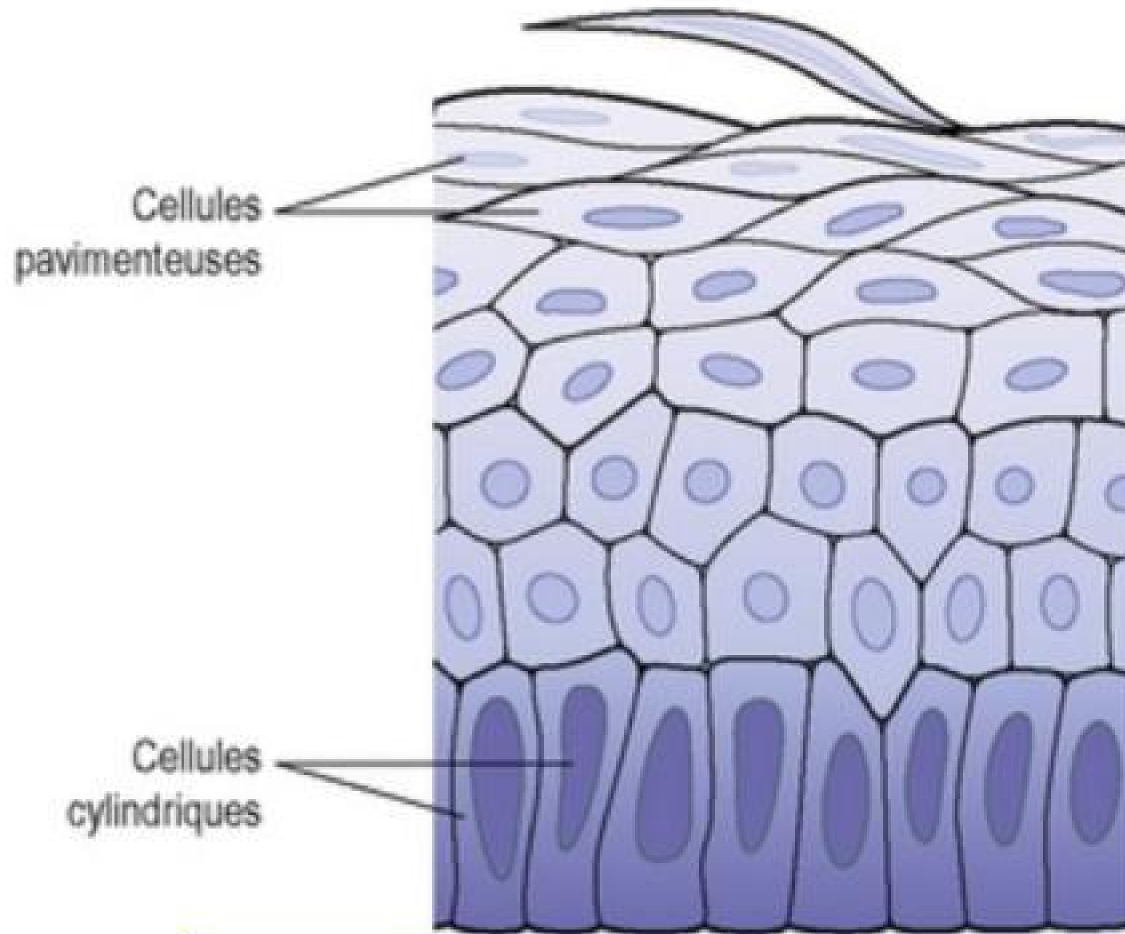


Figure 3.13 Épithélium stratifié.

Épithélium stratifié kératinisé

Il est présent sur les surfaces sèches exposées à l'usure, c'est-à-dire la peau, les poils et les ongles. La couche

superficielle est faite de cellules épithéliales mortes ayant perdu leur noyau et qui contiennent la protéine qu'est la kératine. Cela forme une couche protectrice résistante, relativement imperméable à l'eau, qui empêche le dessèchement des cellules vivantes sous-jacentes. La couche en surface de la peau desquame, et elle est remplacée par des cellules sous-jacentes (voir Ch. 14).

Épithélium stratifié non kératinisé

Il protège les surfaces humaines pouvant être sujettes à l'usure et empêche leur dessèchement, comme la conjonctive de l'œil, le revêtement de la cavité buccale, du pharynx, de l'œsophage et du vagin (Fig. 3.14).



Figure 3.14 Coupe d'épithélium pavimenteux stratifié non kératinisé bordant le vagin (grossissement ×100).

Épithélium transitionnel (Fig. 3.15)

Cet épithélium est fait de plusieurs couches de cellules piriformes ; il borde la cavité vésicale. Il permet l'étirement de la vessie lors du remplissage de celle-ci.

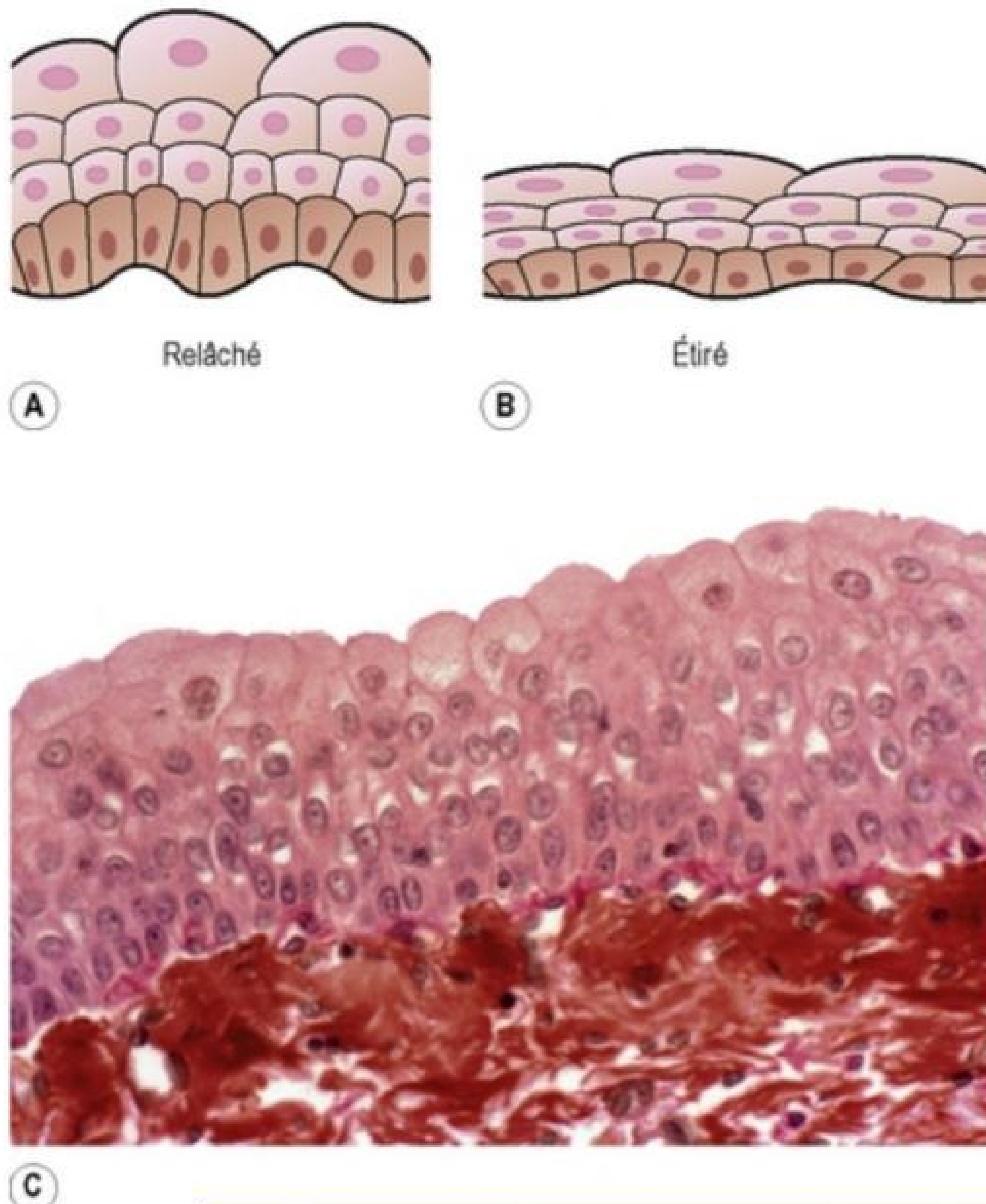


Figure 3.15 Épithélium transitionnel.

A. Relâché. B. Étiré. C. Microscopie classique de la paroi vésicale montrant de l'épithélium transitionnel (en rose) au-dessus du muscle lisse et d'une couche de tissu conjonctif (en rouge).

(NdT : On décrit aussi un épithélium prismatique

pseudostratifié, dont toutes les cellules reposent sur une membrane basale ; certaines sont des cellules prismatiques typiques occupant toute l'épaisseur de l'épithélium, d'autres ont une extrémité supérieure effilée et n'occupent qu'une partie de l'épaisseur de l'épithélium ; les noyaux de ces deux sortes de cellules sont alignés à des niveaux différents, donnant aussi une impression fausse de stratification, d'où le qualificatif pseudostratifié ; un tel épithélium borde l'urètre mâle et le canal de la parotide. On décrit également un épithélium pseudostratifié cilié, qui tapisse la majeure partie de la trachée, les bronches souches, le conduit auditif externe et une partie de la cavité tympanique de l'oreille.)

Tissu conjonctif

Le tissu conjonctif est le tissu corporel le plus abondant. Les cellules qui le forment sont plus largement séparées les unes des autres que ne le sont les cellules des tissus épithéliaux, et la substance intercellulaire (matrice) est présente en quantité considérablement plus importante. Généralement, des fibres sont présentes dans la matrice, qui peut être de consistance semi-solide comme de la gelée, ou dense et rigide, selon le siège et la fonction du tissu. Les fibres forment un réseau de soutien pour que les cellules puissent s'y attacher. La plupart des types de tissu

conjonctif ont une bonne vascularisation sanguine. Les principales fonctions du tissu conjonctif sont :

- la liaison et le support structural ;
- la protection ;
- le transport ;
- l'isolation.

Cellules du tissu conjonctif

Le tissu conjonctif, à l'exception du sang (voir Ch. 4), est présent dans tous les organes possédant un tissu spécialisé. Les différentes cellules qui le constituent sont les fibroblastes, les cellules adipeuses, les macrophages, les leucocytes et les mastocytes.

Fibroblastes

Les fibroblastes sont de grandes cellules avec des prolongements irréguliers (Fig. 3.5). Ils produisent le *collagène* et des *fibres élastiques*, et une matrice de matériel extracellulaire. De très fines fibres de collagène, appelées parfois *fibres de réticuline*, sont présentes dans des tissus très actifs, tels que le foie et le tissu lymphoïde. Les fibroblastes sont particulièrement actifs dans la réparation tissulaire (cicatrisation des plaies), où ils peuvent réunir les

surfaces de section des plaies, ou former un *tissu de granulation* après destruction tissulaire (voir p. 381). Les fibres de collagène formées pendant la cicatrisation rétrécissent en vieillissant, interférant parfois alors avec les fonctions de l'organe lésé et avec les structures adjacentes.

Cellules adipeuses

Ces cellules, appelées également *adipocytes*, sont présentes isolément ou en groupes dans de nombreux types de tissu conjonctif, et elles sont particulièrement abondantes dans le tissu adipeux (voir Fig. 3.17B). Leur taille et leur forme varient en fonction de la quantité de graisse qu'elles contiennent.

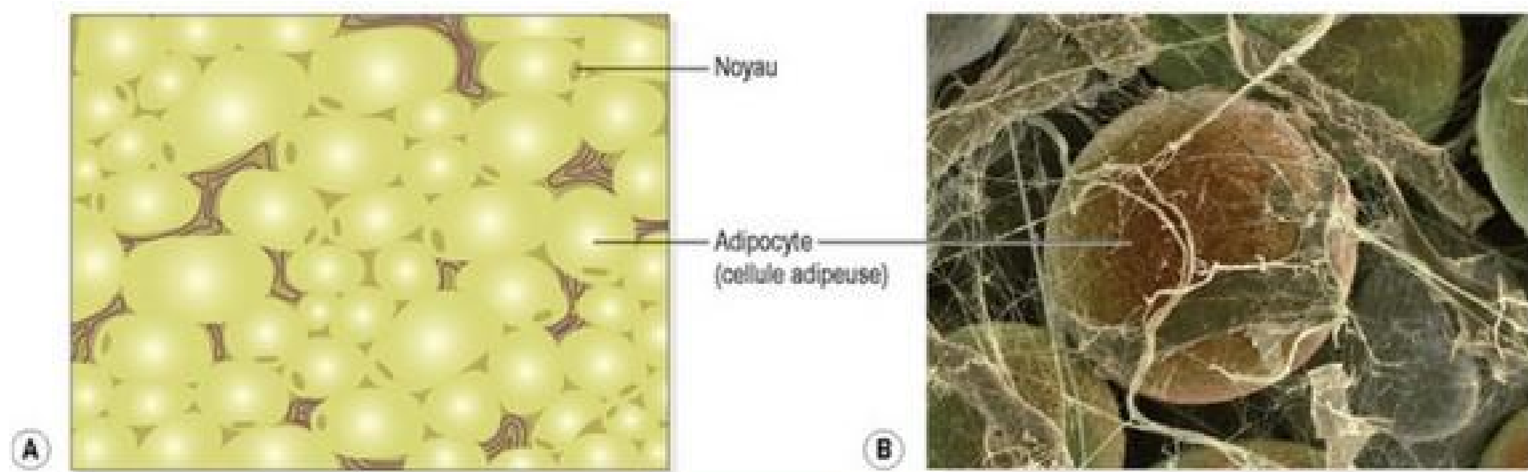


Figure 3.17 Tissu adipeux.

A. Schéma de la structure de base. B. Microscopie à balayage électronique en couleur de cellules adipeuses entourées de brins de tissu conjonctif.

Macrophages

Il s'agit de cellules (NdT : appelées aussi histiocytes) de forme irrégulière, dont le cytoplasme contient des granulations (NdT : il s'agit de lysosomes). Certains macrophages sont fixes, c'est-à-dire attachés à des fibres de tissu conjonctif, et d'autres sont mobiles. Ils constituent une partie importante des mécanismes de défense de l'organisme, car ils sont activement phagocytaires, englobant et digérant des débris cellulaires, des bactéries et d'autres corps étrangers. Leurs activités sont typiquement celles du système de défense constitué par les macrophages/monocytes, par exemple celles des monocytes dans le sang, des phagocytes dans les alvéoles pulmonaires, des cellules de Kupffer des sinusoïdes hépatiques, des fibroblastes dans les nœuds lymphatiques et dans la rate, et des cellules microgliales dans le cerveau.

Leucocytes

Des cellules blanches du sang (p. 66) sont normalement présentes en petites quantités dans le tissu conjonctif normal, mais elles y migrent en nombre significatif pendant l'infection, où elles jouent un rôle important dans la défense tissulaire.

Plasmocytes

Les cellules plasmatiques, ou plasmocytes, se développent à partir des lymphocytes B, un type de globule blanc (voir

p. 66). Elles synthétisent et sécrètent dans le sang des *anticorps* spécifiques (voir Ch. 15).

Mastocytes

Ces cellules sont semblables aux leucocytes basophiles (voir p. 67). Elles sont présentes dans le tissu conjonctif lâche et sous la capsule de certains organes, par exemple le foie et la rate ; elles entourent en très grand nombre les vaisseaux sanguins. Les mastocytes possèdent des granulations contenant de l'*héparine*, de l'*histamine* ainsi que d'autres substances, qui sont libérées quand ces cellules sont lésées par une maladie ou un traumatisme. L'histamine est impliquée dans des réactions inflammatoires locales et générales, elle stimule la sécrétion du liquide gastrique, et elle est associée au développement d'allergies et d'états d'hypersensibilité (voir p. 399). L'héparine empêche la coagulation du sang, ce qui peut contribuer au passage de substances protectrices du sang aux tissus atteints.

Tissu conjonctif lâche (aréolaire) (Fig. 3.16)

C'est le tissu conjonctif le plus généralisé des tissus conjonctifs. La matrice est semi-solide, avec de nombreux fibroblastes et un certain nombre de cellules adipeuses (adipocytes), de mastocytes et de macrophages, largement

séparés par des fibres élastiques et des fibres de collagène. Il est présent dans presque chaque partie du corps, lui fournissant son élasticité et sa résistance à la traction. Il connecte et soutient d'autres tissus, étant présent, par exemple :

- sous la peau (Fig. 3.16B) ;
- entre les muscles ;
- dans les vaisseaux sanguins et les nerfs ;
- dans le canal alimentaire ;
- dans les glandes, soutenant les cellules sécrétoires.

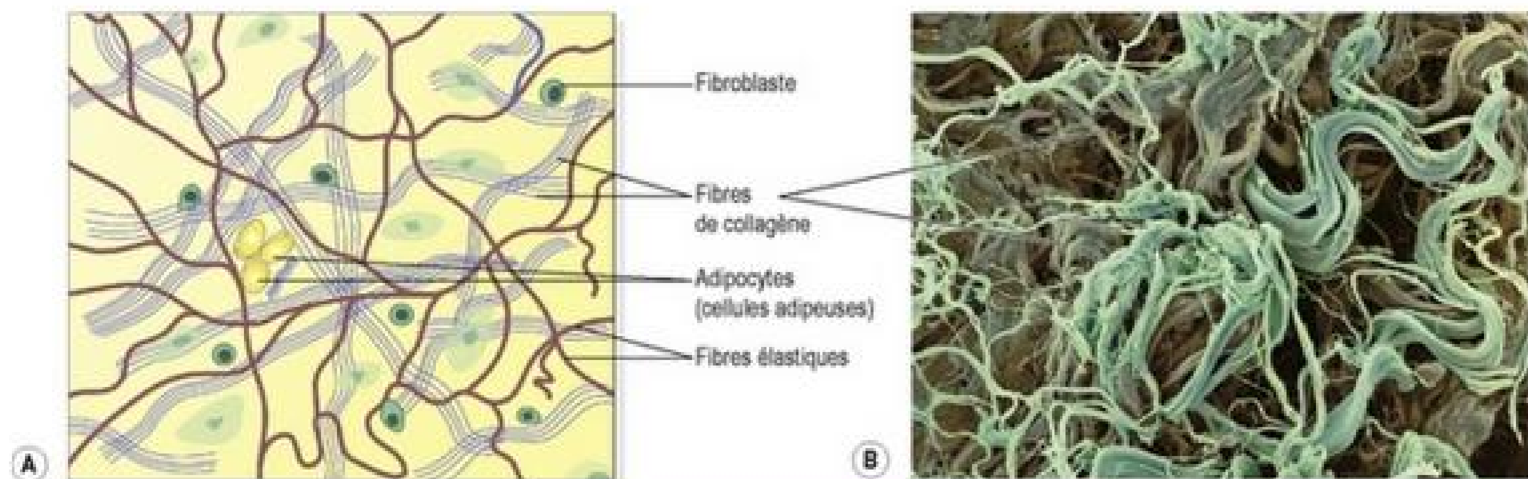


Figure 3.16 Tissu conjonctif lâche (aréolaire).

A. Schéma de la structure de base. B. Microscopie à balayage électronique en couleur de cellules adipeuses entourées de brins de tissu conjonctif.

Tissu adipeux (Fig. 3.17)

Le tissu adipeux est fait de cellules adipeuses (adipocytes) contenant de gros globules de graisse, et d'une matrice de tissu aréolaire (Fig. 3.16). Il en existe deux types : blanc et brun.

Tissu adipeux blanc

Il constitue 20 à 25 % du poids corporel des adultes bien nourris. La quantité de tissu adipeux d'un individu est déterminée par le rapport entre les apports et les dépenses d'énergie. Il est présent comme soutien des reins et des yeux, entre les fibres musculaires et sous la peau, où il joue le rôle d'isolant thermique et de réserve d'énergie.

Tissu adipeux brun

Il est présent chez le nouveau-né. Il a un réseau capillaire plus important que le tissu adipeux blanc. Quand le tissu brun est métabolisé, il produit moins d'énergie et beaucoup plus de chaleur que l'autre graisse, contribuant au maintien de la température corporelle. Chez les adultes, il n'est présent qu'en petite quantité.

Tissu lymphoïde (Fig. 3.18)

Ce tissu, appelé aussi tissu réticulaire, a une matrice semi-solide, avec de fines fibres de réticuline ramifiées. Il

contient des cellules réticulaires et des leucocytes (*monocytes* et *lymphocytes*). Le tissu lymphoïde se trouve dans les nœuds lymphatiques et dans tous les organes du système lymphatique (voir Fig. 6.1, p. 136).

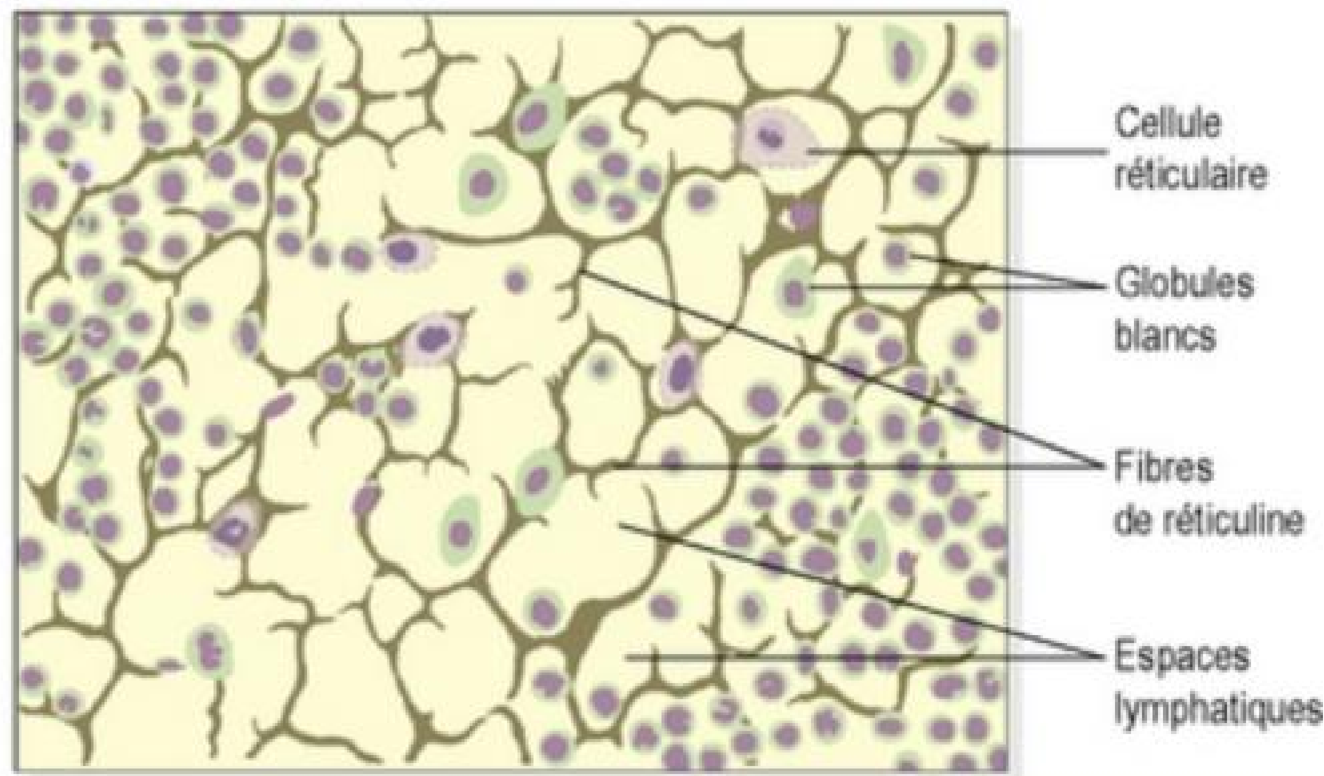


Figure 3.18. Tissu lymphoïde.

Tissu conjonctif dense

Ce tissu contient davantage de fibres et moins de cellules que le tissu conjonctif lâche.

Tissu fibreux (Fig. 3.19A)

Ce tissu est fait principalement de faisceaux de fibres de collagène étroitement empaquetés, avec très peu de matrice. Les fibrocytes (fibroblastes vieux et inactifs) sont peu nombreux, présents dans les rangées entre les

faisceaux de fibres. Du tissu fibreux est présent :

• dans les *ligaments*, qui relient les os entre eux ;

• comme couverture protectrice superficielle de l'os, appelée *périoste* ;

• comme couverture protectrice superficielle de certains organes, par exemple les reins, les nœuds lymphatiques et le cerveau ;

• dans les gaines des muscles appelées *fascias musculaires* (voir Fig. 16.52, p. 433), qui s'étendent au-delà du muscle pour former le *tendon* attachant le muscle à l'os.

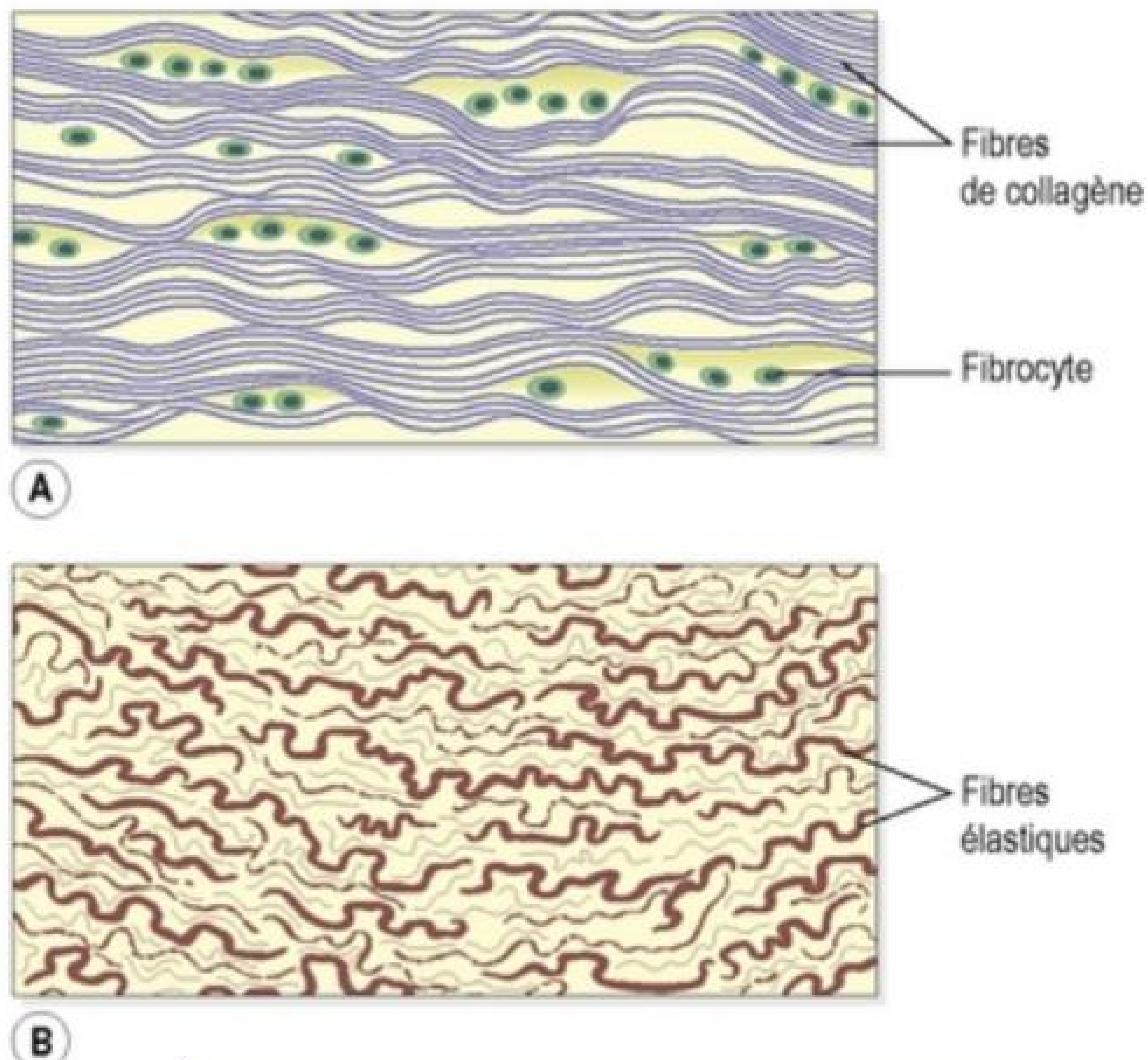


Figure 3.19 Tissu conjonctif dense.

A. Tissu fibreux. B. Tissu élastique.

Tissu élastique (Fig. 3.19B)

Le tissu élastique peut faire l'objet d'une extension et d'une détente considérables. Il comporte peu de cellules, et la matrice est faite principalement de masses de fibres élastiques sécrétées par les fibroblastes. Il est présent dans

les organes devant modifier leur forme, par exemple dans la paroi des gros vaisseaux sanguins, dans la trachée, les bronches et les poumons.

Sang

Il s'agit d'un tissu conjonctif fluide, décrit en détail dans le chapitre 4.

Cartilage

Le cartilage est un tissu plus ferme que les autres tissus conjonctifs ; ses cellules sont appelées *chondrocytes*, et elles sont peu nombreuses. Elles sont enchâssées dans la matrice, renforcée par des fibres de collagène et des fibres élastiques. On en distingue trois types : le cartilage hyalin, le fibrocartilage et le fibrocartilage élastique.

Cartilage hyalin (Fig. 3.20A)

Le cartilage hyalin est un tissu lisse blanc-bleuté. Les chondrocytes sont disposés en petits groupes à l'intérieur de lacunes (nids cellulaires) et dans la matrice, qui est solide et lisse. Le cartilage hyalin fournit la flexibilité, le soutien et les surfaces lisses pour les mouvements articulaires. Il est présent :

- aux extrémités des os longs formant les articulations ;

• dans les cartilages costaux, qui rattachent les côtes au sternum ;

• dans le larynx, la trachée et les bronches.

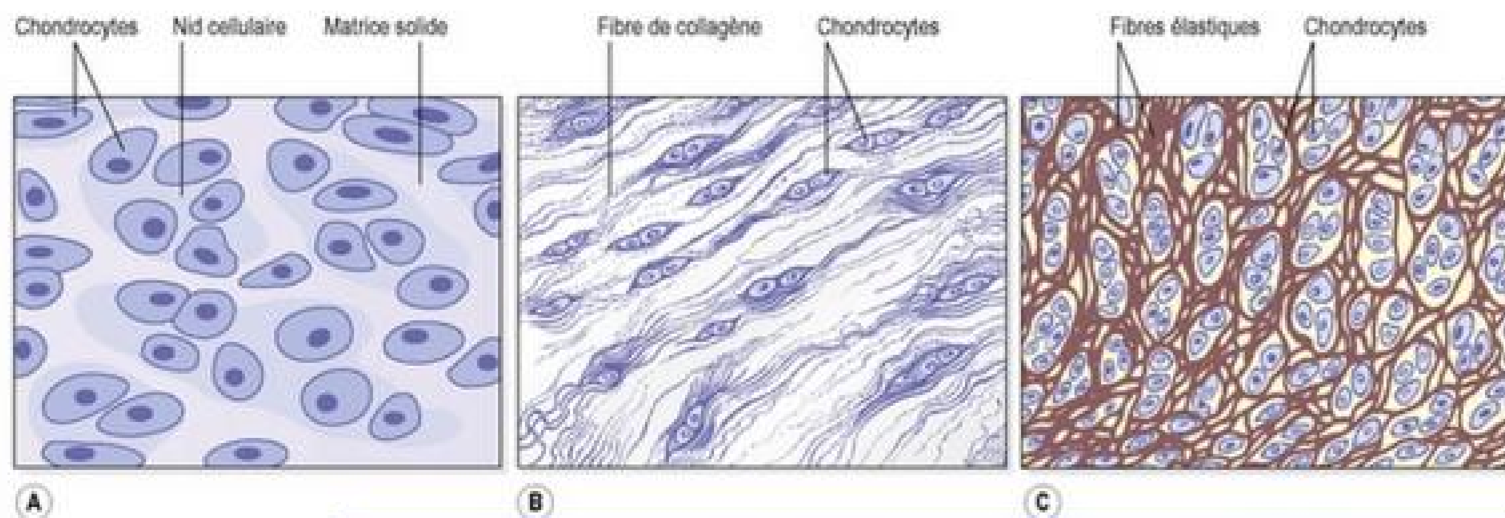


Figure 3.20 Cartilage.

A. Cartilage hyalin. B. Fibrocartilage. C. Fibrocartilage élastique.

Fibrocartilage (Fig. 3.20B)

Le fibrocartilage consiste en masses denses de fibres de collagène blanc dans une matrice semblable à celle du cartilage hyalin, avec des cellules largement dispersées. Il s'agit d'un tissu de soutien dur, légèrement flexible, présent :

• sous forme de coussinets entre les corps vertébraux, appelés *disques intervertébraux* ;

• entre les surfaces articulaires des os du genou, constituant les *cartilages semi-lunaires* ;

- sur la bordure des cavités articulaires de la hanche et de l'épaule, rendant plus profondes ces cavités sans limiter les mouvements articulaires ;
- en tant que *ligaments* réunissant des os.

Fibrocartilage élastique (Fig. 3.20C)

Ce tissu flexible est fait de fibres élastiques jaunes dans une matrice solide. Les chondrocytes sont situés entre les fibres. Ce tissu soutient et maintient la forme, par exemple, du pavillon de l'oreille, de l'épiglotte et d'une partie de la média de la paroi des vaisseaux sanguins.

Os

Les cellules de l'os (ostéocytes) sont entourées d'une matrice faite de fibres de collagène renforcées par des sels inorganiques, en particulier de calcium et de phosphate. Cela confère aux os leur résistance et leur rigidité caractéristiques. L'os a également une considérable capacité de croissance dans les deux premières décennies de la vie, et de régénération tout au long de la vie. Deux types d'os peuvent être identifiés à l'œil nu :

- l'*os compact*, solide, d'aspect dense ;
- l'*os spongieux*, ayant un aspect spongieux ou en fins

rayons de miel.

Ils sont décrits en détail dans le chapitre 16.

Tissu musculaire

Le tissu musculaire a la capacité de se contracter et de se relâcher, permettant le mouvement à l'intérieur du corps et du corps lui-même. La contraction musculaire nécessite une irrigation sanguine adéquate afin de fournir suffisamment d'oxygène, de calcium et de nutriments, et de chasser les produits de déchet. Il existe trois types de cellules contractiles spécialisées, aussi appelées *fibres* : le muscle squelettique, le muscle lisse et le muscle cardiaque.

Tissu musculaire squelettique (Fig. 3.21)

Ce type de tissu est décrit comme *squelettique* car il forme les muscles qui font bouger les os (du squelette) ; *strié* car les stries peuvent être vues à l'examen microscopique ; et *volontaire* car il est sous contrôle de la conscience. En réalité, les mouvements peuvent être précisément coordonnés, par exemple dans l'écriture, mais peuvent aussi être contrôlés inconsciemment. Par exemple, maintenir la station debout ne nécessite pas la réflexion normalement, à moins qu'une nouvelle capacité locomotrice soit en cours d'apprentissage, par exemple pour faire du skate ou du vélo ; par ailleurs, le diaphragme

maintient la respiration pendant le sommeil.

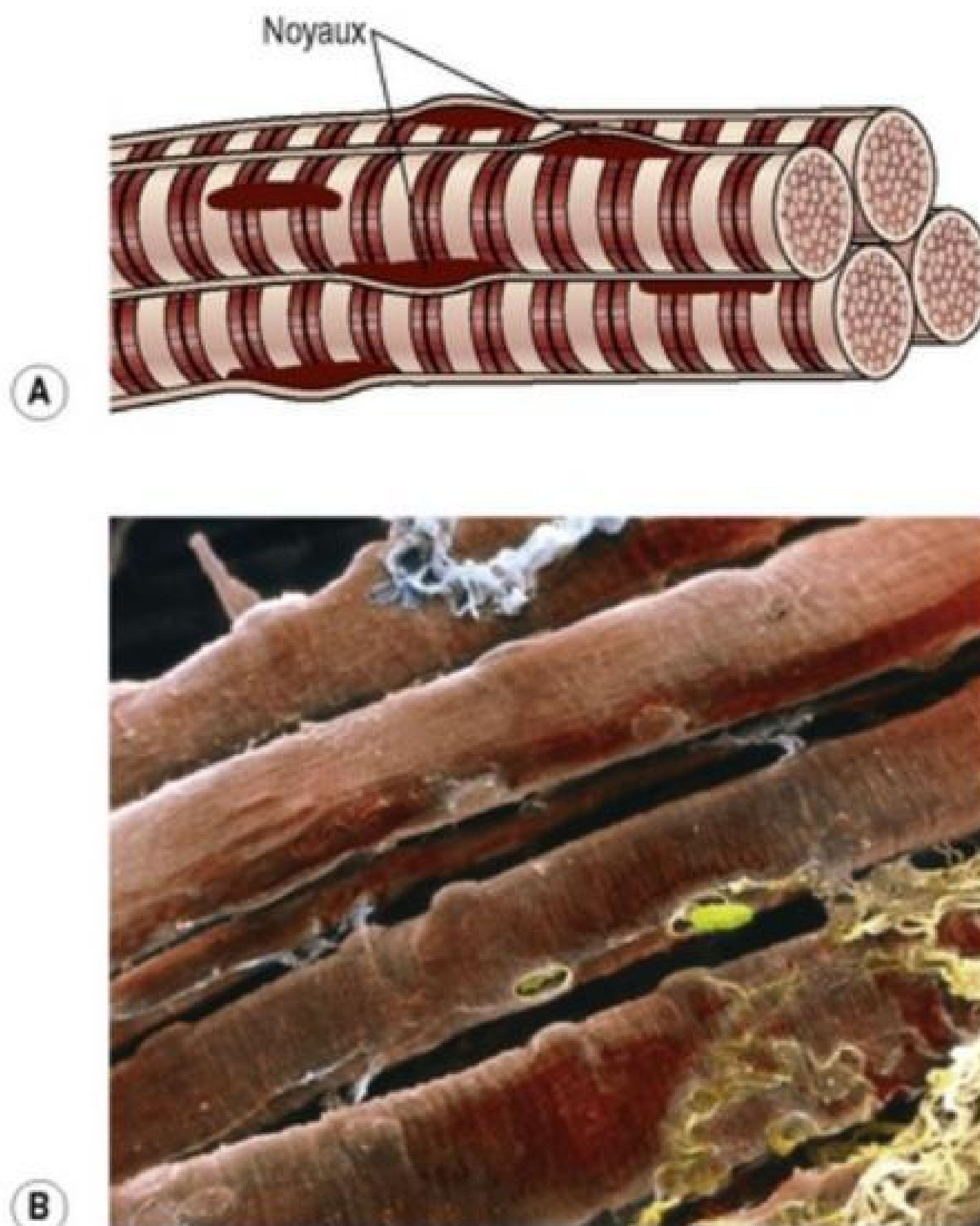


Figure 3.21 Fibres musculaires squelettiques.

A. Schéma. **B.** Microscopie à balayage électronique en couleur de fibres musculaires squelettiques et de fibres de tissu conjonctif (en bas à droite).

Les fibres sont cylindriques, contiennent plusieurs noyaux et leur longueur peut atteindre 35 cm. La

contraction d’un muscle squelettique est stimulée par des influx nerveux moteurs s’originant dans le cerveau ou la moelle spinale et s’achevant à la jonction neuromusculaire (voir p. 436). Les propriétés et les fonctions du muscle squelettique sont expliquées en détail au chapitre 16.

Tissu musculaire lisse (Fig. 3.22)

Le muscle lisse peut être qualifié aussi de *non strié*, de *viscéral* ou d’*involontaire*. Il n’a pas de stries et n’est pas sous contrôle conscient. Le muscle lisse à la capacité intrinsèque de se contracter et de se relâcher. De plus, les influx nerveux autonomiques, certaines hormones et des métabolites localisés stimulent la contraction. Un degré de tonicité musculaire est toujours présent, ce qui signifie que le muscle lisse n’est complètement relâché que pour de courtes périodes. La contraction du muscle lisse est plus lente et plus soutenue que celle du muscle lisse. Il est présent dans les parois d’organes creux :

- régulant le diamètre des vaisseaux sanguins et de parties du tractus respiratoire ;
- propulsant le contenu des uretères, des canaux excréteurs des glandes et du tractus alimentaire ;
- expulsant le contenu de la vessie et de l’utérus.

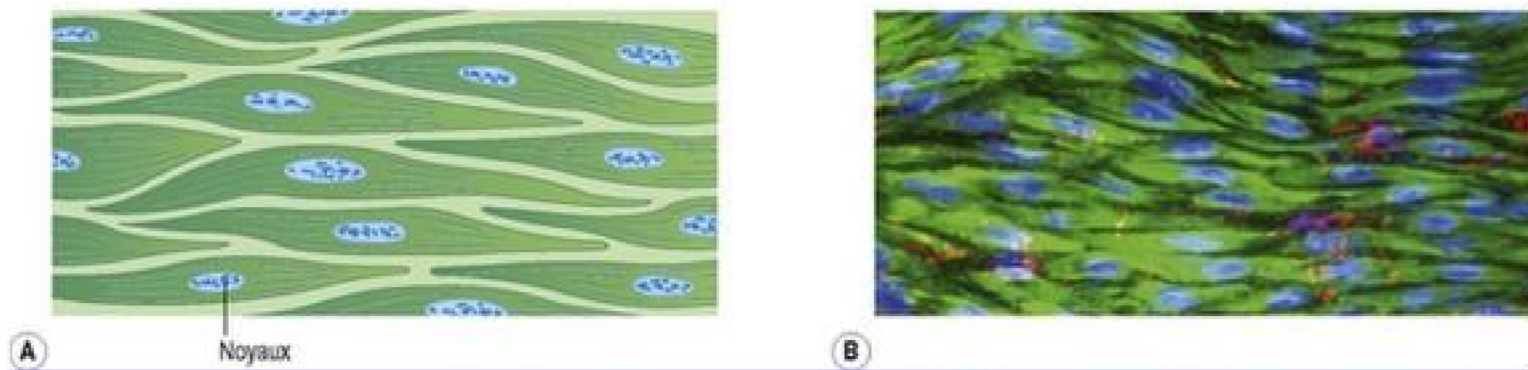


Figure 3.22 Muscle lisse.

A. Schéma. B. Microscopie en fluorescence classique montrant de l'actine, une protéine musculaire contractile (en vert), des noyaux (en bleu) et des capillaires (en rouge).

Quand elles sont examinées au microscope, les cellules ont une forme de fuseau, avec seulement un noyau central. Des faisceaux de fibres forment des feuillets musculaires, tels que ceux présents dans la paroi des structures citées plus haut.

Tissu musculaire cardiaque (Fig. 3.23)

Ce type de tissu musculaire n'est présent que dans la paroi du cœur. Il n'est pas sous contrôle conscient mais, au microscope, il présente les bandes transversales (stries) caractéristiques du muscle squelettique. Chaque fibre (ou cellule) a un noyau et une ou plusieurs branches. Les terminaisons des cellules et de leurs branches sont en contact très étroit (NdT : bout à bout) avec les extrémités et les branches des cellules adjacentes. Au microscope, ces jonctions, ou *disques intercalaires* (NdT : appelés aussi

stries scalariformes), sont vues comme des lignes plus épaisses et plus sombres que les bandes transversales ordinaires. Cette disposition donne au muscle cardiaque l'aspect d'un feuillet musculaire plutôt que celui d'un très grand nombre de fibres individuelles. La continuité bout à bout des cellules musculaires cardiaques a une signification en rapport avec la façon dont le cœur se contracte. Une onde de contraction passe en effet de cellule en cellule à travers les disques intercalaires, ce qui signifie que les cellules n'ont pas besoin d'être stimulées individuellement.

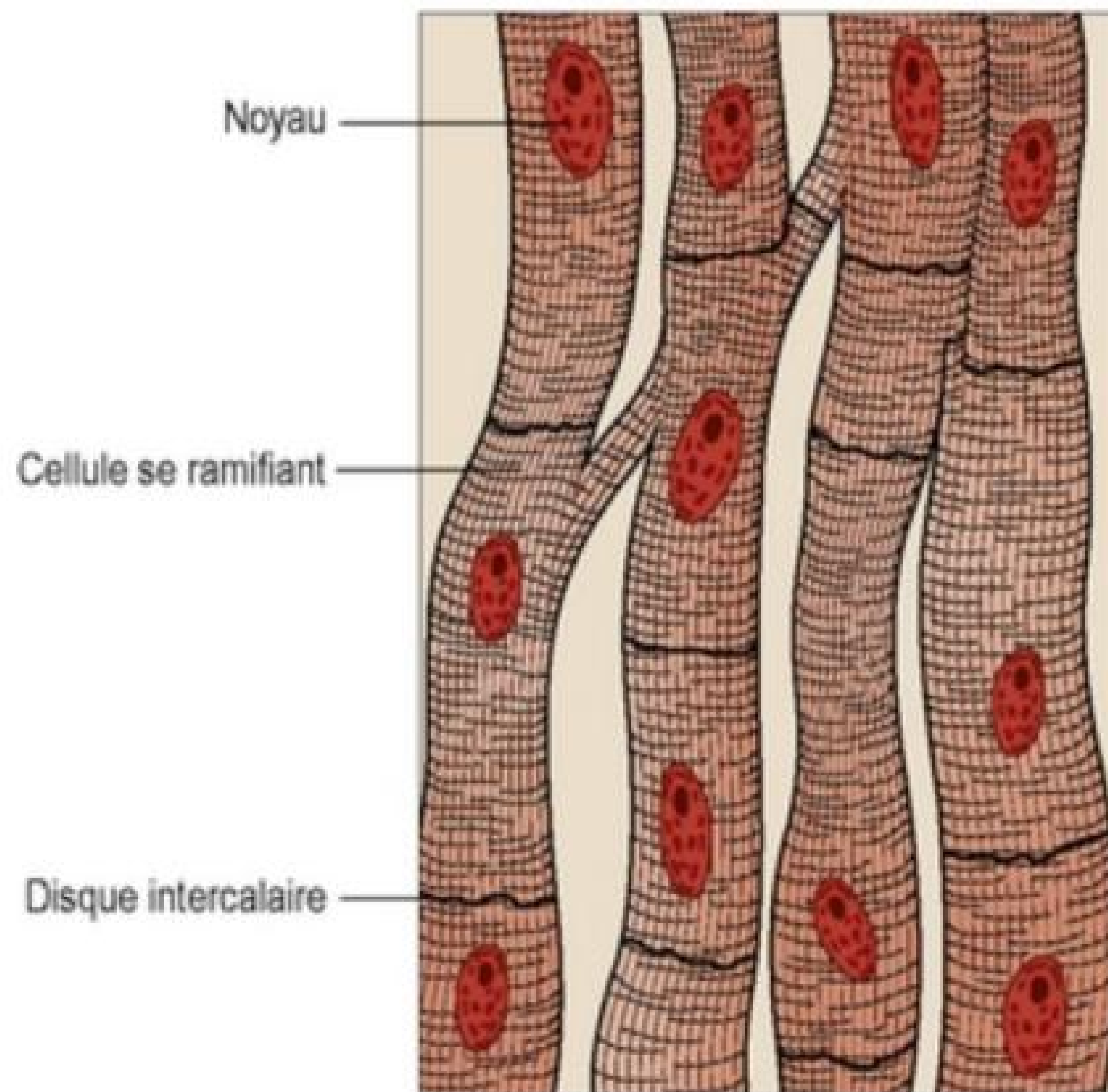


Figure 3.23 Fibres musculaires cardiaques.

Le cœur a un système de pacemaker intrinsèque, ce qui signifie qu'il bat de manière coordonnée sans stimulation nerveuse externe, bien que le rythme auquel il bat soit influencé par les influx nerveux autonomiques, certaines hormones, des métabolites localisés et d'autres substances (voir Ch. 5).

Tissu nerveux

Deux types de cellules sont présents dans le système nerveux :

- des cellules excitables, appelées *neurones*, qui initient, reçoivent, conduisent et transmettent l'information ;
- des cellules non excitables, aussi appelées *cellules gliales*, qui servent de support aux neurones.

Elles sont décrites en détail dans le chapitre 7.

Régénération tissulaire

L'importance de la régénération dépend du rythme normal de renouvellement des cellules impliquées ; celles dont le renouvellement est rapide régénèrent le plus efficacement. Elles appartiennent à trois catégories générales :

- les tissus dans lesquels la réplication cellulaire est un processus continu et qui régénèrent rapidement – ils comprennent les cellules épithéliales, par exemple de la peau, des muqueuses, des glandes à sécrétions, de l'utérus, et du tissu lymphoïde ;

- d'autres tissus qui ont gardé la capacité de se répliquer, mais de façon non fréquente ; ils comprennent le foie, le rein, les fibroblastes et les cellules musculaires lisses. Ces tissus prennent plus de temps pour régénérer ;

- certains tissus qui sont normalement incapables de se répliquer, dont les cellules nerveuses (neurones), et les cellules des muscles squelettiques et cardiaque. Les tissus très lésés sont habituellement remplacés par du tissu fibreux, ce qui implique que les fonctions remplies par le tissu originel sont perdues.

Membranes

Membranes épithéliales

Ces membranes sont des feuillets de tissu épithélial et de tissu conjonctif qui le supporte, couvrant ou bordant de nombreuses structures internes ou cavités. Les principales membranes sont la membrane muqueuse, la membrane séreuse et la peau (membrane cutanée, voir Ch. 14).

Membrane muqueuse

C’est la bordure humide du tractus alimentaire, des voies respiratoires et des voies génito-urinaires ; elle est parfois appelée *muqueuse*. La surface de la membrane est faite de cellules épithéliales, dont certaines produisent une sécrétion appelée *mucus*, liquide visqueux, adhérent. En s’accumulant, il distend la cellule, qui finalement éclate, libérant le mucus sur la surface libre. Pendant que la cellule se remplit de mucus, elle prend l’apparence d’une coupe ou d’un flacon, d’où son appellation *cellule caliciforme* (voir Fig. 12.5, p. 300). Les organes bordés par une muqueuse ont une surface humide, glissante. Le mucus protège la membrane bordante de l’assèchement, et des agressions mécaniques et chimiques. Dans les voies respiratoires, il piège les particules étrangères inhalées, les empêchant d’atteindre les alvéoles pulmonaires.

Membrane séreuse

Les membranes séreuses, ou *séreuses*, sécrètent un liquide aqueux. Elles consistent en une double couche de tissu conjonctif aréolaire lâche, limitée par un épithélium pavimenteux simple (NdT : appelé communément mésothélium). La couche *pariétale* borde une cavité, et la couche *viscérale* entoure des organes (viscères) à l’intérieur d’une cavité. Les deux couches sont séparées

par un *liquide séreux* sécrété par l'épithélium. Elles constituent :

- la *plèvre*, bordant la cavité thoracique (NdT : plèvre pariétale) et entourant les poumons (NdT : plèvre viscérale) (p. 259) ;

- le *péricarde*, bordant la cavité péricardique et entourant le cœur (p. 85) ;

- le *péritoine*, bordant la cavité abdominale et entourant les organes abdominaux (p. 298).

Le liquide séreux entre les couches pariétale et viscérale permet à l'organe de glisser librement dans la cavité sans être lésé par un frottement entre lui et les organes adjacents. Par exemple, le cœur change de forme et de taille à chaque battement, et des lésions par frottement sont prévenues par la disposition du péricarde et du liquide séreux qui s'y trouve.

Membrane synoviale

Cette membrane borde les cavités articulaires et les tendons qui les entourent, qui pourraient être lésés par leur frottement sur des os, par exemple sur ceux du poignet. Il ne s'agit pas d'une membrane épithéliale, mais plutôt de tissu conjonctif lâche et de fibres élastiques.

La membrane synoviale sécrète le *liquide synovial,* clair, gluant, huileux, qui lubrifie et nourrit les articulations (voir Ch. 16).

Glandes

Les *glandes* sont des groupes de cellules épithéliales produisant des sécrétions spécialisées. Les glandes qui déchargent leur sécrétion sur la surface épithéliale des organes creux, soit directement soit par l'intermédiaire d'un *canal*, sont appelées *glandes exocrines*. La taille, la forme et la complexité des glandes exocrines sont très variables, comme le montre la figure 3.24. Les sécrétions des glandes exocrines incluent le mucus, la salive, les sucs digestifs et le cérumen. La figure 3.25 montre les glandes tubulaires simples du gros intestin. D'autres glandes libèrent leurs sécrétions dans le sang et dans la lymphe. Elles sont appelées *glandes endocrines* (glandes sans canal), et leurs sécrétions sont des *hormones* (voir Ch. 9).

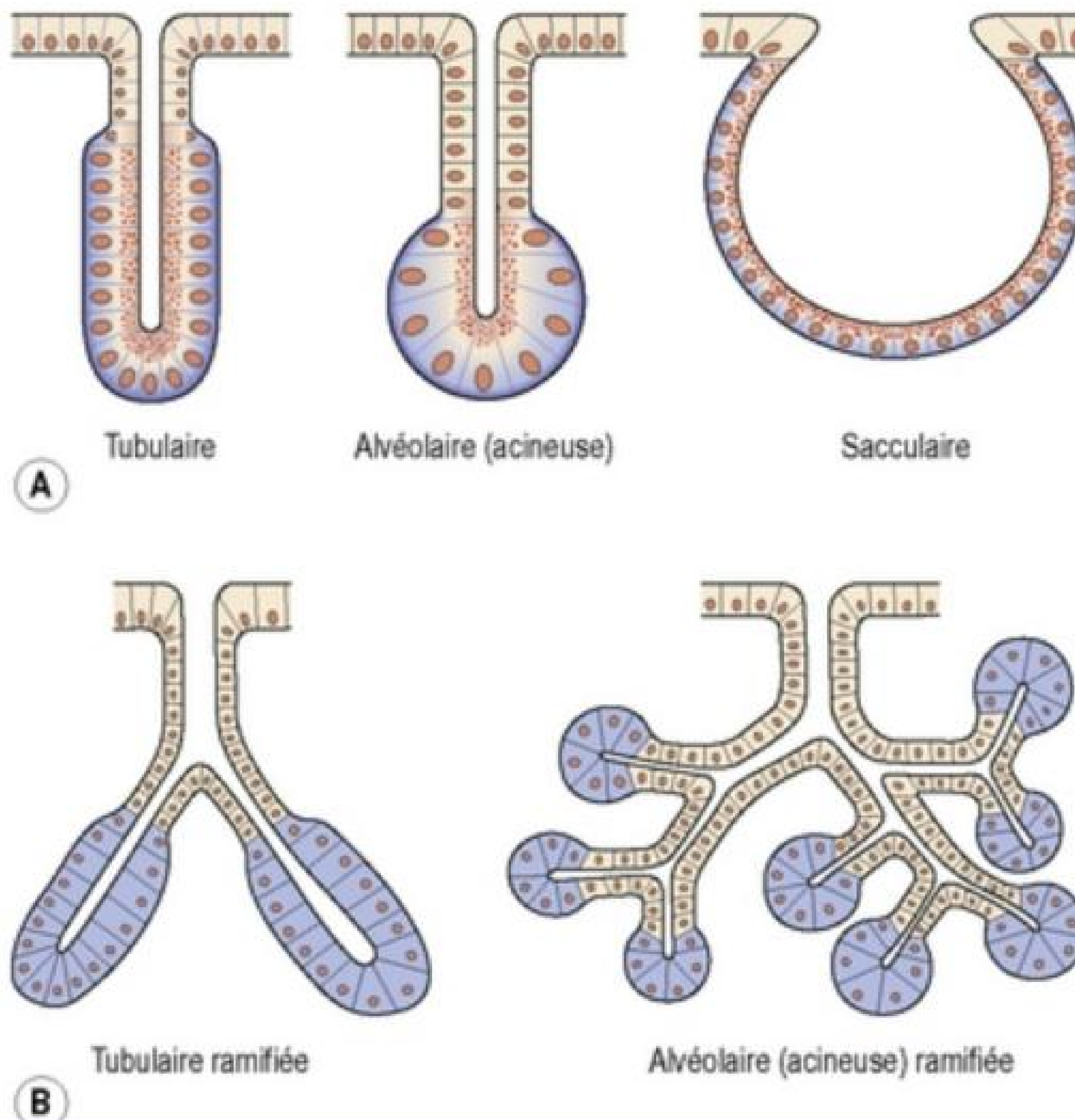


Figure 3.24 Glandes exocrines.

A. Glandes simples. **B.** Glandes composées (ramifiées).

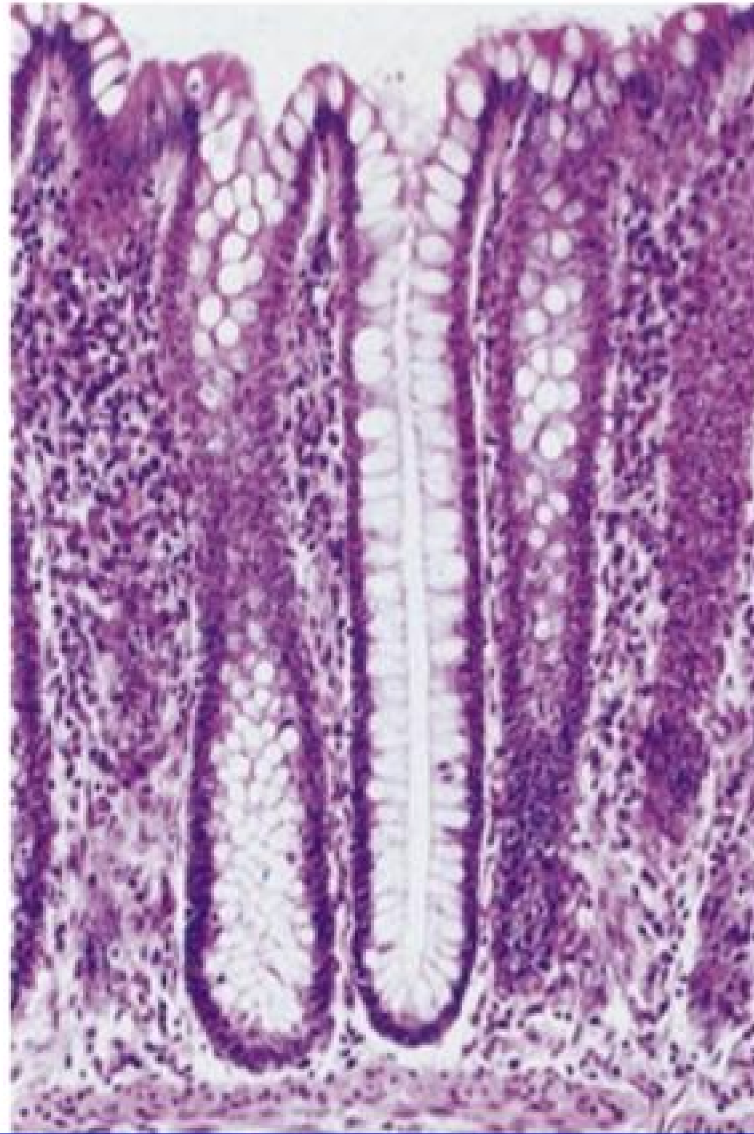


Figure 3.25 Glandes tubulaires simples dans le gros intestin. Photographie avec réactif (grossissement ×50).

Organisation du corps

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

■ de définir les termes anatomiques courants ;

■ d'identifier les principaux os du squelette axial et du squelette des membres ;

■d'établir les limites des quatre cavités du corps ;

■d'énumérer le contenu des cavités corporelles.

Cette partie du chapitre donne une vue d'ensemble de la signification de termes anatomiques, du nom et de la position des os. Les os, les muscles et les articulations sont vus de façon plus détaillée dans le chapitre 16.

Termes anatomiques

Position anatomique

C'est la position utilisée dans toutes les descriptions anatomiques afin qu'elles soient précises et uniformes. Le corps est en position debout, la tête droite regardant devant, les bras sur les côtés avec la paume des mains en avant, les pieds joints.

Plan médian

Quand le corps, en position anatomique, est divisé *longitudinalement* sur la ligne médiane en deux moitiés, droite et gauche, il a été divisé dans le plan médian.

Termes directionnels

Ces termes, appariés, servent à décrire la localisation de parties du corps en relation les unes avec les autres ; ils sont énumérés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 Termes directionnels utilisés en anatomie

Terme directionnel	Signification
Antérieur ou ventral	Partie du corps décrite plus proche du devant du corps. *Le sternum est antérieur aux vertèbres*
Distal	Éloigné du point d'attache d'un membre, ou de l'origine d'une partie du corps. *La fibula est distale au fémur*
Inférieur	Structure plus éloignée de la tête. *Les omoplates sont inférieures au crâne*
Latéral	La structure est plus éloignée de la ligne médiane, ou d'un côté du corps. *L'humérus est latéral au cœur*
Médial	La structure est plus proche de la ligne médiane. *Le cœur est médial à l'humérus*
Postérieur ou dorsal	Partie décrite plus proche de la face dorsale du corps. *Les vertèbres sont postérieures au sternum*
Proximal	Plus près du point d'attache d'un membre, ou de l'origine d'une partie du corps. *Le fémur est proximal à la fibula*
Supérieur	Structure plus proche de la tête. *Le crâne est supérieur aux omoplates*

Termes régionaux

Ils sont employés pour décrire les parties du corps (Fig. 3.26).

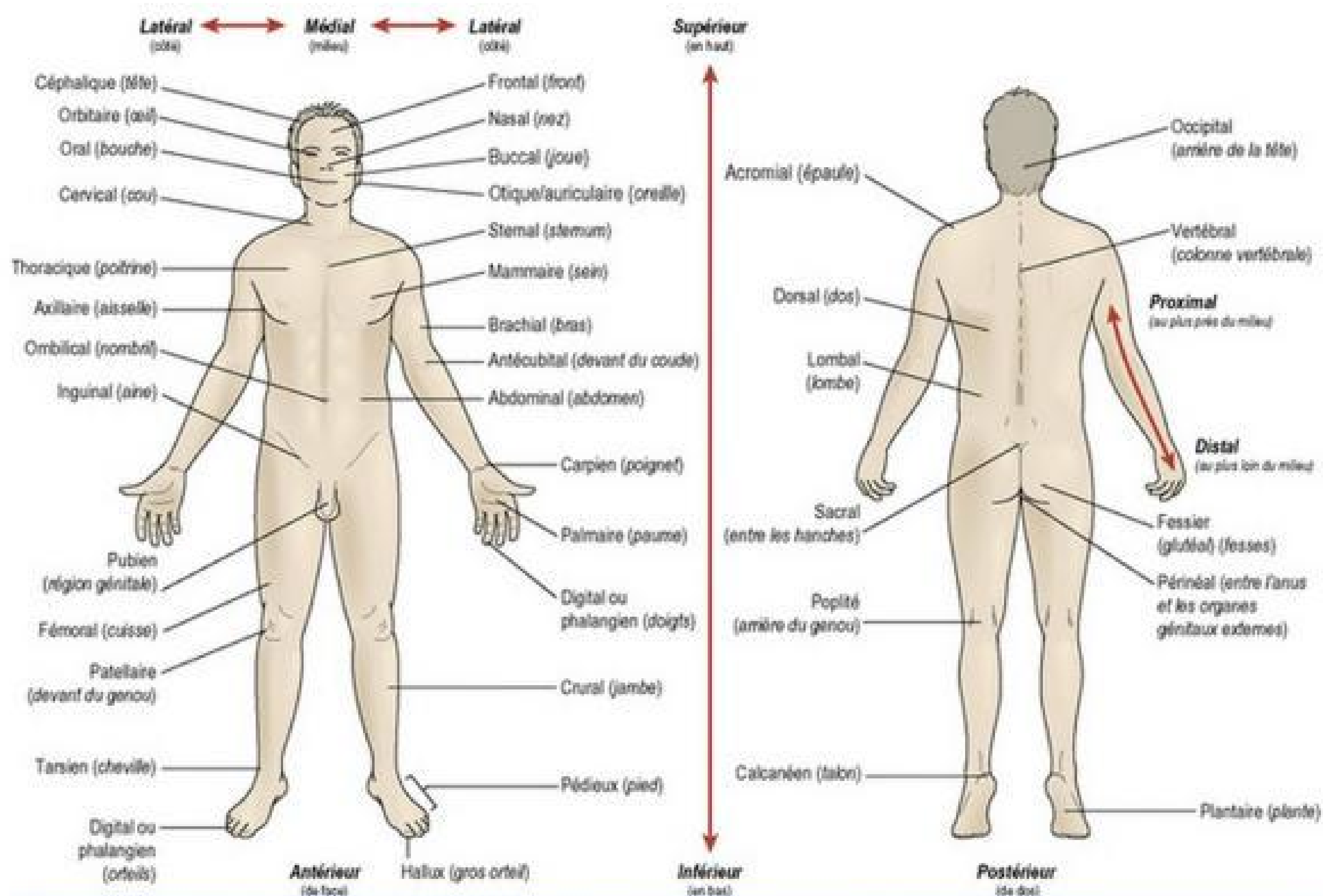


Figure 3.26 Termes directionnels et régionaux.

Squelette

Le squelette (Fig. 3.27) est la charpente osseuse du corps. Il forme les cavités et les fosses (dépressions ou creux) qui protègent certaines structures, forme les articulations et donne attache aux muscles. Une description détaillée des os est donnée dans le chapitre 16. Le tableau 16.1 (p. 409) fournit une liste de termes en rapport avec le squelette.



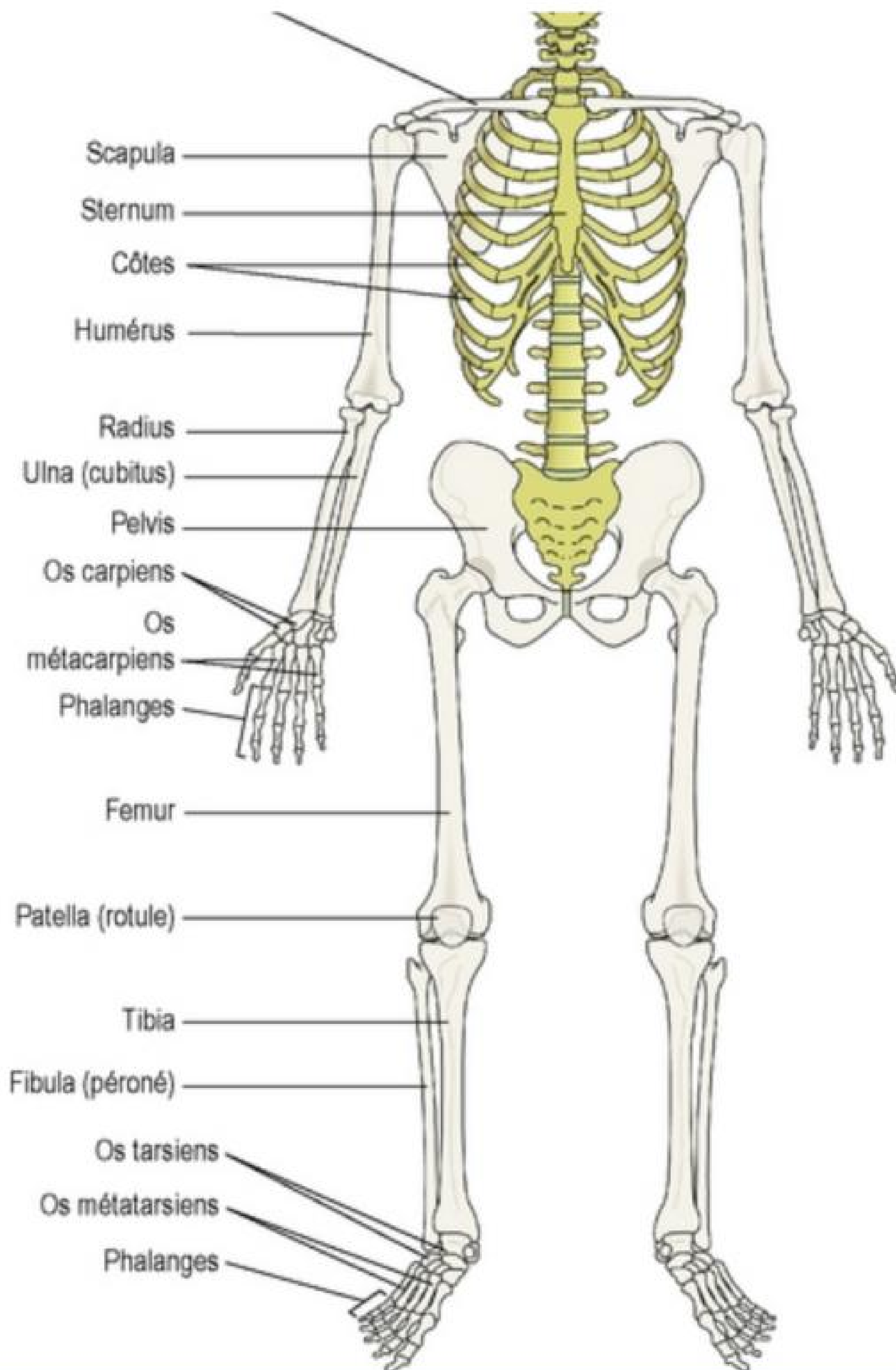


Figure 3.27 Vue antérieure du squelette : squelette axial (en doré) et squelette appendiculaire (en brun).

Le squelette est décrit en deux parties : *axial*, et *appendiculaire* (ou des membres, attaché à l'axe du corps).

Squelette axial

Le squelette axial (axe du corps) comprend la tête, la colonne vertébrale, le sternum (os du thorax) et les côtes.

Tête

La tête comporte deux parties : le *crâne*, qui contient le cerveau, et la *face*. Elle est faite d'os qui se développent séparément, mais qui fusionnent entre eux une fois matures. La mandibule, ou maxillaire inférieur, est le seul os mobile. Le nom et la situation des os de la tête peuvent être vus dans la figure 3.28.

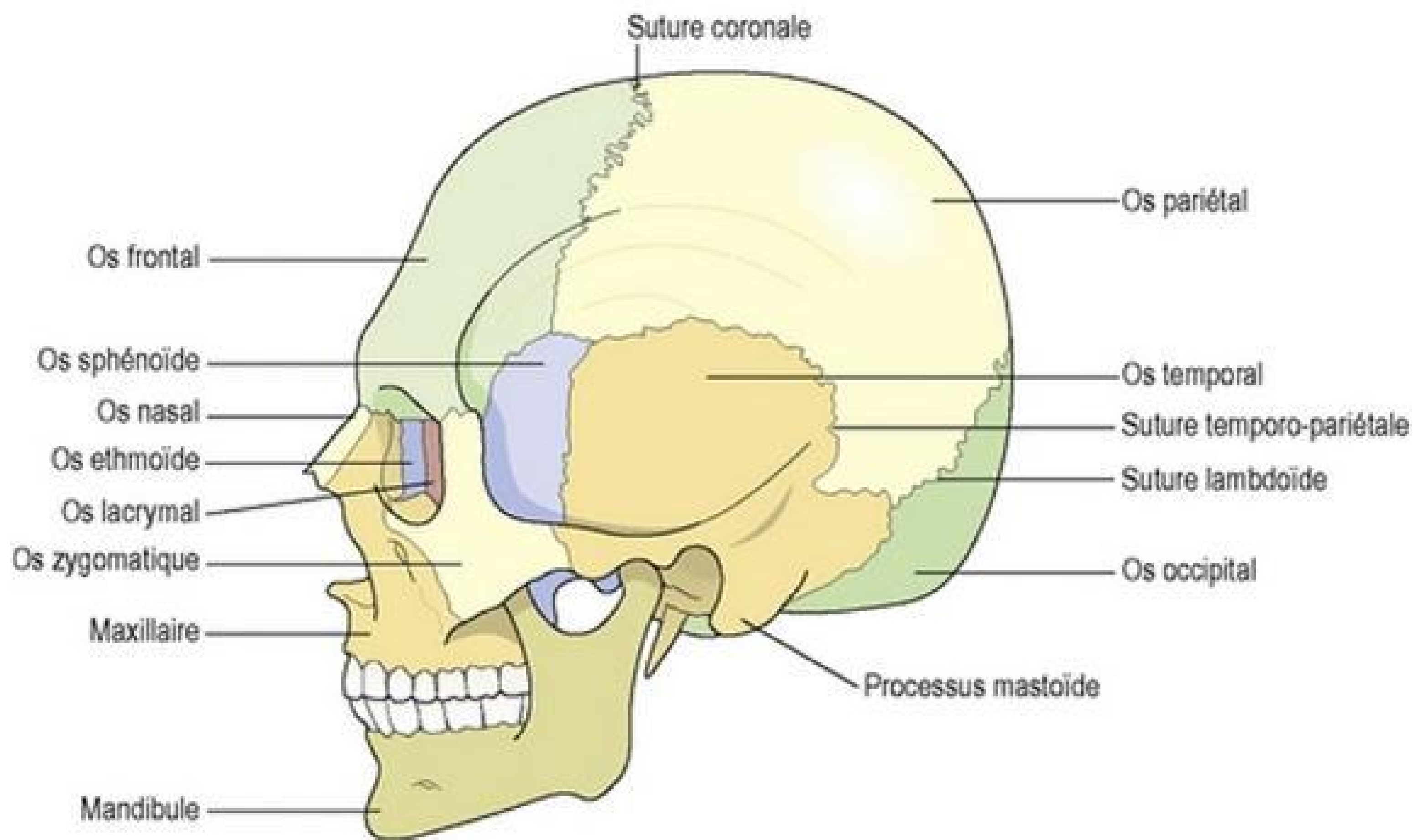


Figure 3.28 Le crâne : os du crâne et de la face.

Fonctions de la tête

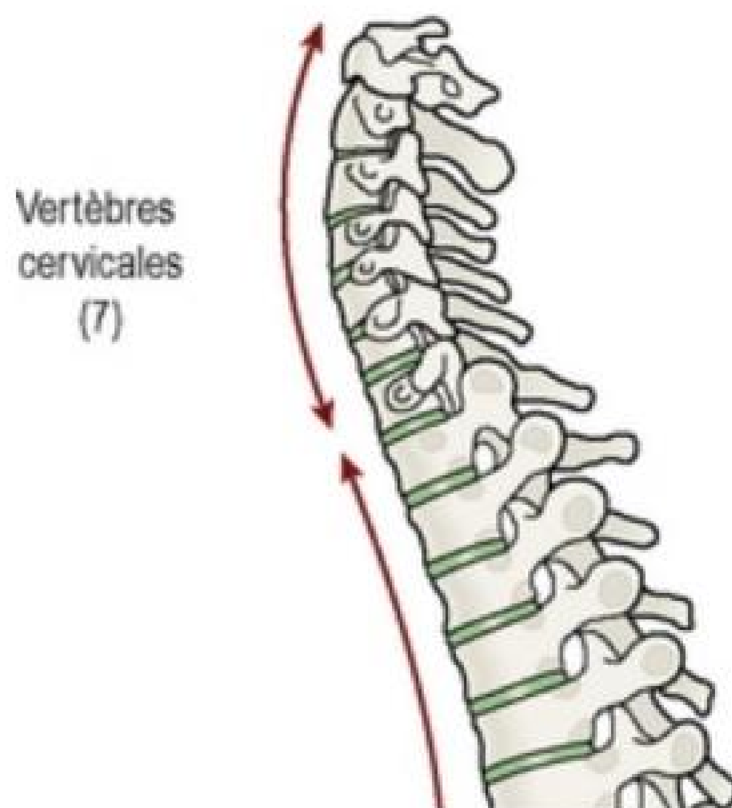
Les diverses parties de la tête ont des fonctions différentes et spécifiques (voir p. 415), qui sont, pour résumer :

- la protection des structures délicates, comprenant le cerveau, les yeux et les oreilles internes ;
- le maintien de la perméabilité des voies aériennes rendant possible la respiration ;
- le fait de manger. Les dents sont enchâssées dans la mandibule et le maxillaire ; le mouvement de la mandibule, seul os de la tête mobile, permet la mastication.

Colonne vertébrale

La colonne vertébrale est faite de 24 os mobilisables (les vertèbres), plus le sacrum et le coccyx. Les corps vertébraux sont séparés les uns des autres par les *disques intervertébraux*, faits de cartilage. On décrit cinq parties à la colonne vertébrale, et les os de chaque partie sont numérotés de haut en bas (Fig. 3.29) :

- 7 vertèbres cervicales ;
- 12 thoraciques ;
- 5 lombales ;
- 1 sacrum (5 os fusionnés) ;
- 1 coccyx (4 os fusionnés).



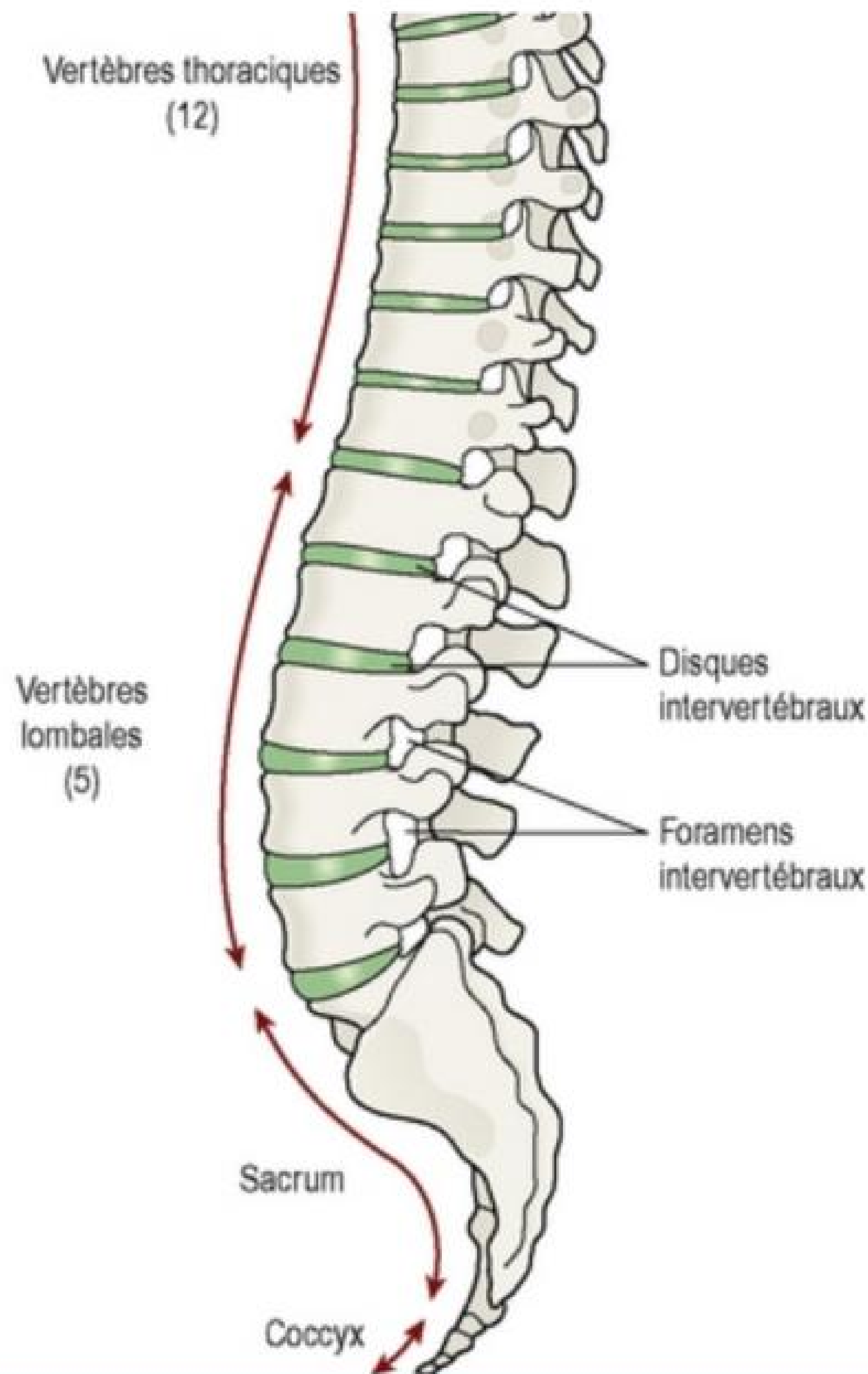


Figure 3.29 La colonne vertébrale – vue latérale.

La première vertèbre cervicale, appelée *atlas*, s'articule avec le crâne. Ensuite, chaque vertèbre forme une articulation avec les vertèbres immédiatement sus- et sous-jacentes. Les régions vertébrales cervicale et lombale sont plus mobiles que la région thoracique (dorsale).

Le *sacrum* est fait de cinq vertèbres fusionnées en un seul os, qui s'articule avec la cinquième vertèbre lombale, sus-jacente, et avec le coccyx, sous-jacent, ainsi qu'avec l'os innominé (os coxal, ou os de la hanche) de chaque côté.

Le *coccyx* est fait des quatre vertèbres terminales fusionnées en un petit os triangulaire, qui s'articule avec le sacrum, sus-jacent.

Fonctions de la colonne vertébrale

La colonne vertébrale a plusieurs fonctions importantes.

- Elle protège la moelle spinale. Chaque vertèbre présente un orifice, le *foramen vertébral* et, collectivement, les foramens forment un canal où se trouve la moelle spinale.
- Des vertèbres adjacentes forment des orifices (foramens intervertébraux), qui protègent les nerfs spinaux alors qu'ils sortent de la moelle spinale (voir Fig. 16.26, p. 418).
- Dans la région thoracique, les côtes s'articulent avec les vertèbres, permettant le mouvement de la cage thoracique durant la respiration.

Cage thoracique

La cage thoracique est formée par :

- 12 vertèbres thoraciques ;
- 12 paires de côtes ;
- 1 sternum.

  La disposition des os peut être vue dans la figure 3.30.

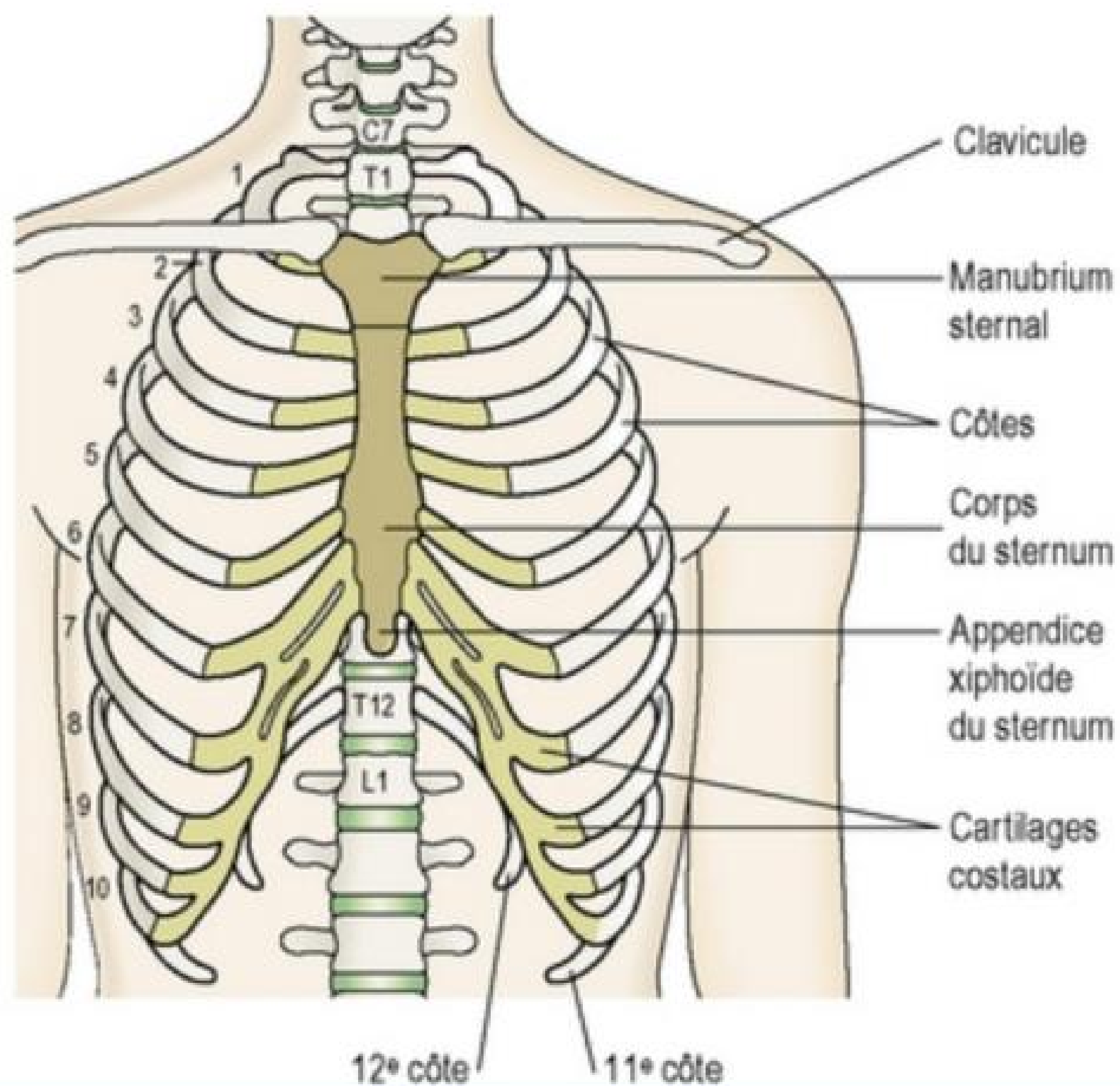


Figure 3.30 Les structures formant les parois de la cage thoracique.

Fonctions de la cage thoracique

Les fonctions de la cage thoracique sont les suivantes.

• Elle protège les organes thoraciques, incluant le cœur, les poumons et les gros vaisseaux sanguins.

• Elle forme des articulations entre les membres supérieurs et le squelette axial. La partie supérieure du sternum, le *manubrium*, s'articule avec les clavicules, constituant la seule articulation entre les membres supérieurs et le squelette axial.

• Elle donne attache aux muscles de la respiration :
  – les *muscles intercostaux* occupent les espaces entre les côtes et, quand ils se contractent, les côtes se déplacent en haut et en dehors, augmentant la capacité de la cage thoracique, et l'inspiration se produit ;
  – le *diaphragme* est un muscle en forme de dôme qui sépare les cavités thoracique et abdominale ; il s'attache aux os du thorax et, quand il se contracte, il aide à l'inspiration.

• Elle permet à la respiration de se produire.

Squelette des membres

Le squelette des membres (appendiculaire) comprend les membres supérieurs et la ceinture scapulaire, les membres inférieurs, et les os innominés du pelvis (anneau pelvien, os iliaques) (voir Fig. 3.27).

Ceinture scapulaire et membres supérieurs

Chaque ceinture scapulaire comprend une clavicule et une omoplate. Chaque membre supérieur comprend :

- 1 humérus ;
- 1 radius ;
- 1 ulna ou cubitus ;
- 8 os carpiens ;
- 5 os métacarpiens ;
- 14 phalanges.

Anneau pelvien et membres inférieurs

Les os de l’anneau pelvien sont les deux os innominés et le sacrum. Chaque membre inférieur consiste en :

- 1 fémur ;
- 1 tibia ;
- 1 fibula ou péroné ;
- 1 patella ou rotule ;
- 7 os tarsiens ;

- 5 os métatarsiens ;
- 14 phalanges.

Fonctions du squelette des membres

Le squelette des membres a deux principales fonctions.

- *Mouvements volontaires*. Les os, les muscles et les articulations des membres sont impliqués dans le mouvement du squelette. Cela va de très fins mouvements des doigts lors de l'écriture aux mouvements coordonnés de tous les membres lors de la course et du saut.

- *Protection de structures fragiles*. Des structures telles que les vaisseaux sanguins et les nerfs sont situées le long des os des membres, et elles sont protégées des traumatismes par des muscles de la peau. Ces structures sont surtout vulnérables là où elles croisent des articulations et où les os peuvent être perçus sous la peau.

Cavités du corps

Les organes constituant les systèmes corporels sont contenus dans quatre cavités : crânienne, thoracique, abdominale, pelvienne.

Cavité crânienne

La cavité crânienne contient le cerveau ; ses limites sont formées par les os du crâne (Fig. 3.31) :

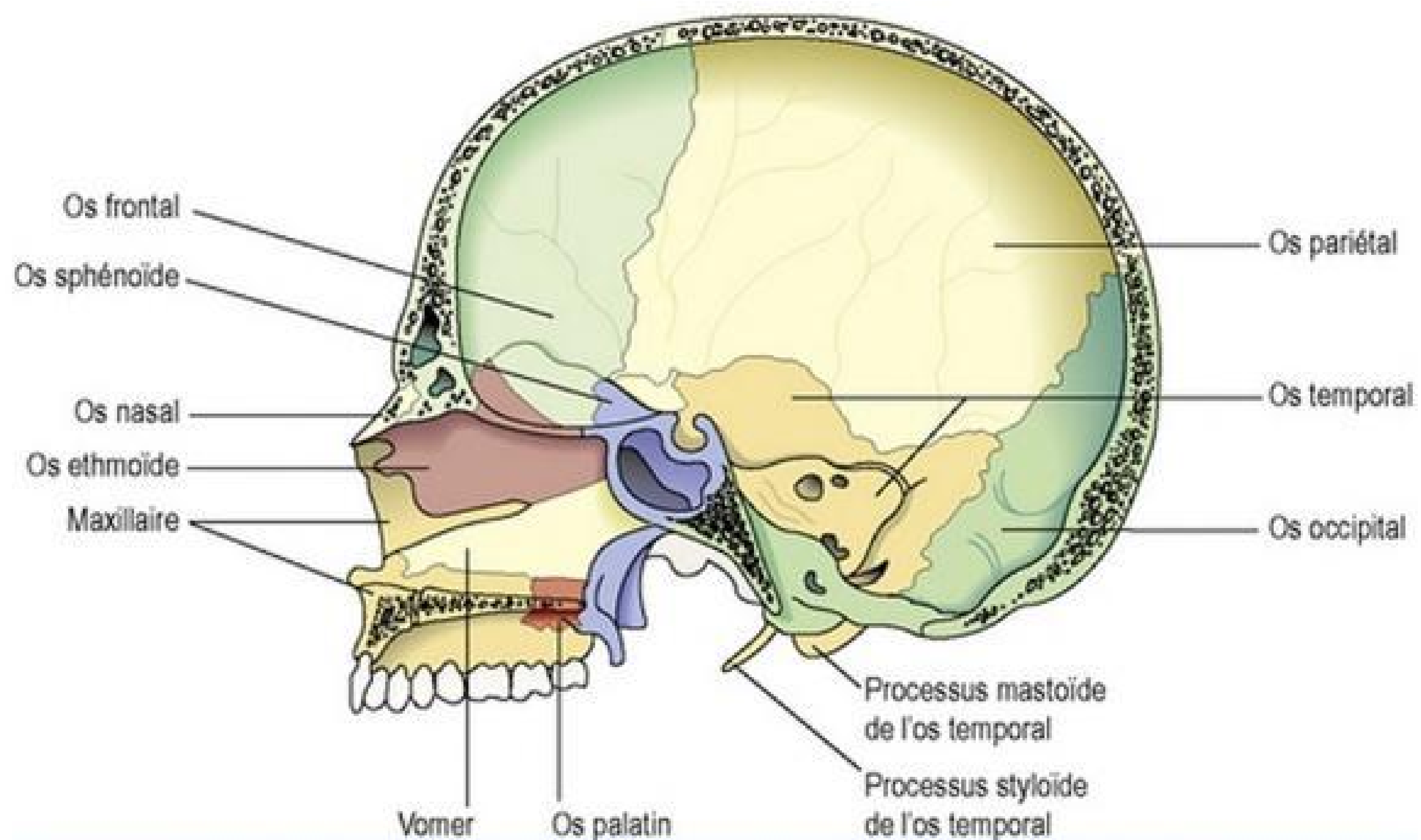


Figure 3.31 Os formant la moitié droite du crâne et de la face – vus depuis la gauche.

en avant	– 1 os frontal ;
latéralement	– 2 os temporaux ;
en arrière	– 1 os occipital ;
en haut	– 2 os pariétaux ;
en bas	– 1 os sphénoïde et 1 os ethmoïde, ainsi que des parties des os frontal, temporal et occipital.

Cavité thoracique

Cette cavité est située à la partie supérieure du tronc. Ses limites sont formées par une charpente osseuse et par les muscles que supportent celle-ci (Fig. 3.32) :

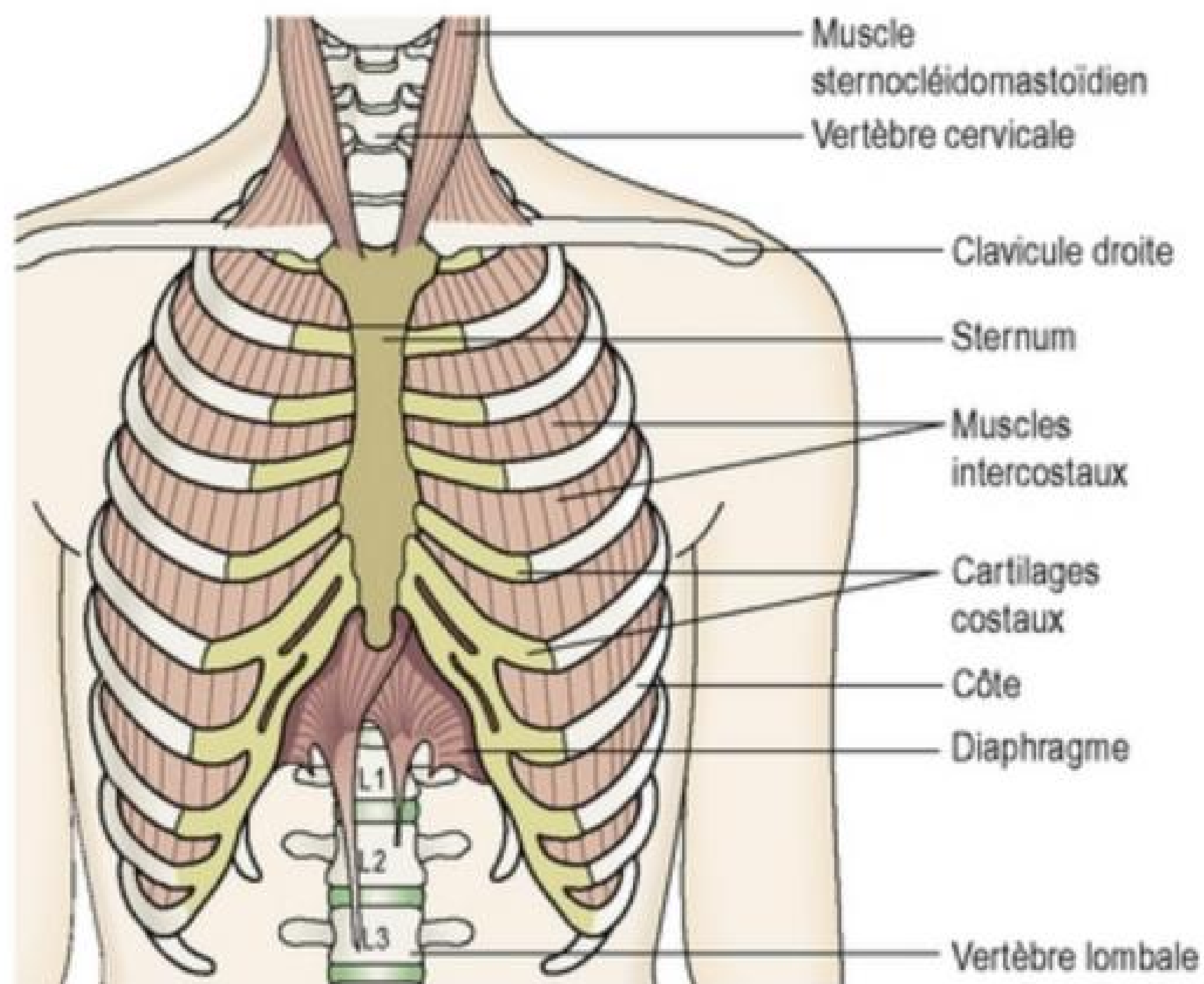


Figure 3.32 Structures formant les parois de la cavité thoracique, et structures associées.

en avant	– le sternum et les cartilages des côtes ;
latéralement	– 12 paires de côtes et les muscles intercostaux ;
en arrière	– les vertèbres thoraciques ;
en haut	– les structures formant la racine du cou ;
en bas	– le diaphragme, muscle en forme de dôme.

Contenu

Les principaux organes et structures contenus dans la cavité thoracique sont montrés dans la figure 5.10, p. 86. Ils comprennent :

- la trachée, 2 bronches souches, 2 poumons ;
- le cœur, l'aorte, les veines caves supérieure et inférieure, de nombreux autres vaisseaux sanguins ;
- l'œsophage ;
- des vaisseaux et des nœuds lymphatiques ;
- quelques nerfs importants.

Le *médiastin* est l'espace situé entre les poumons, comprenant des structures telles que le cœur, l'œsophage et les gros vaisseaux de la base du cœur.

Cavité abdominale

C'est la plus grande cavité corporelle, de forme ovalaire (Fig. 3.33 et 3.34). Elle occupe la plus grande partie du tronc, et elle est limitée par :

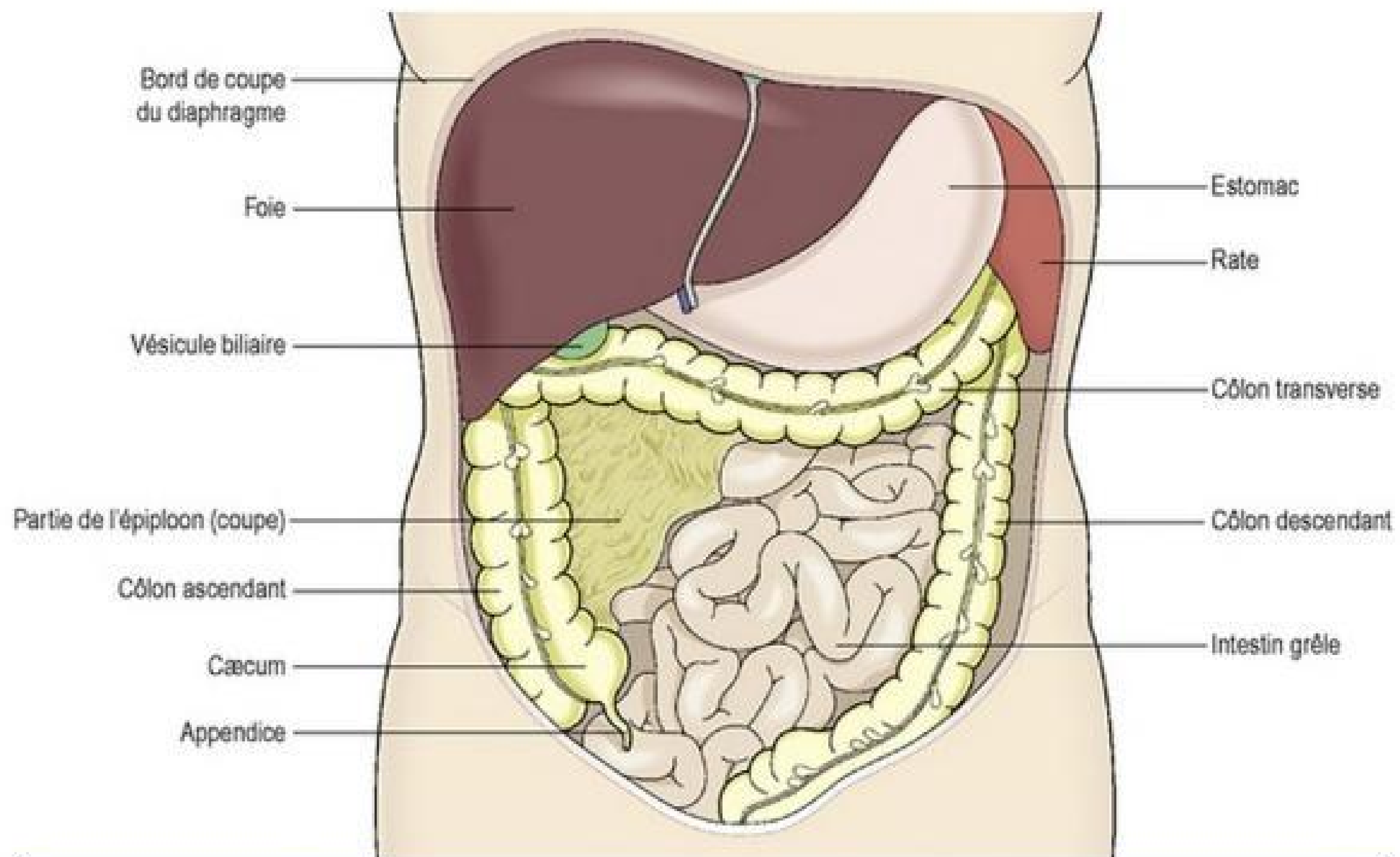


Figure 3.33 Organes occupant la partie antérieure de la cavité abdominale, et le diaphragme (coupe).

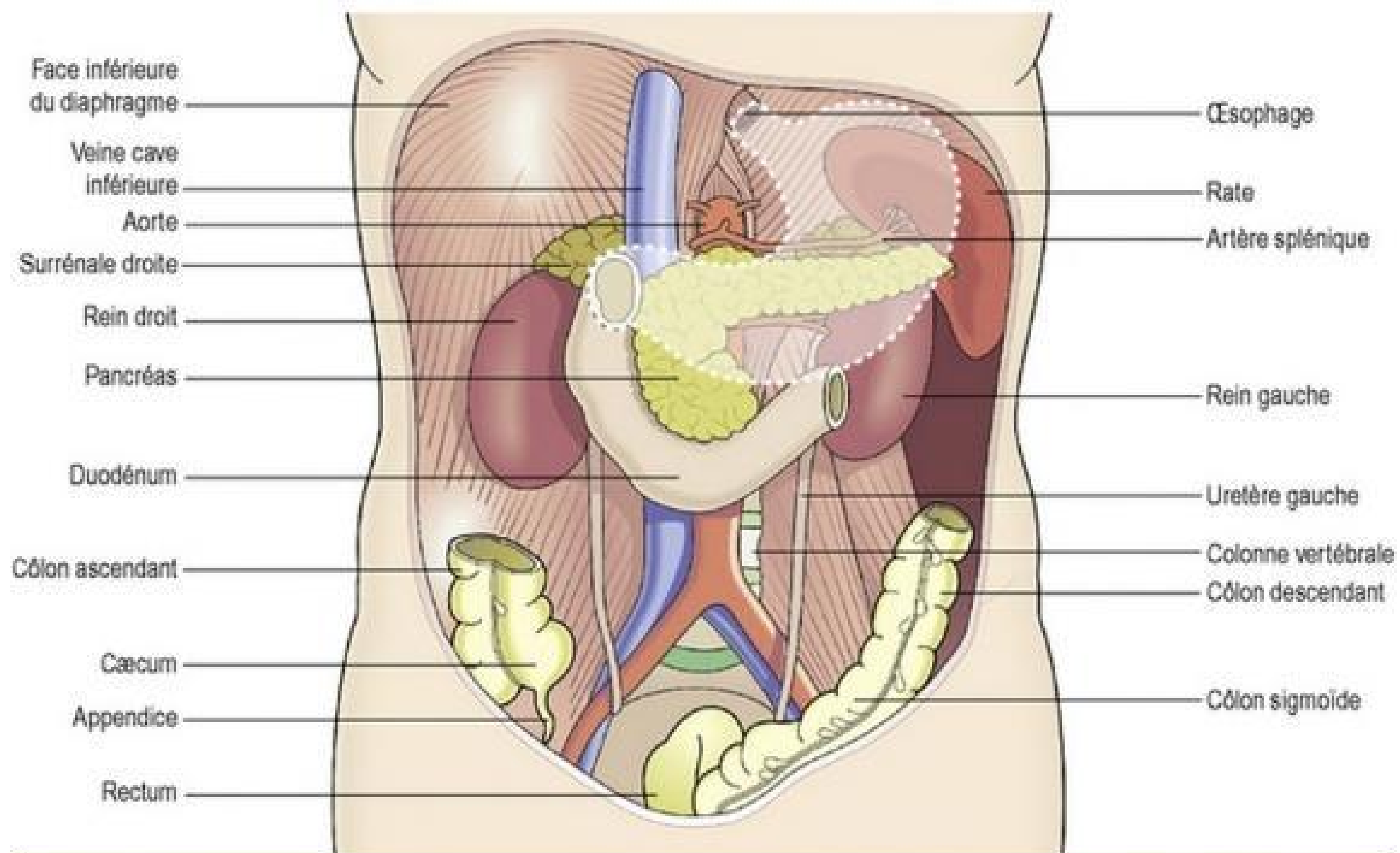


Figure 3.34 Organes occupant la partie postérieure de la cavité abdominale et les cavités pelviennes.

Les lignes en pointillés indiquent la position de l'estomac.

en haut	– le diaphragme, qui la sépare de la cavité thoracique ;
en avant	– les muscles formant la paroi abdominale antérieure ;
en arrière	– les vertèbres lombales et les muscles formant la paroi abdominale postérieure ;
latéralement	– les côtes inférieures et des parties des muscles de la paroi abdominale ;
en bas	– la cavité pelvienne, avec laquelle elle se continue.

Par convention, la cavité abdominale est divisée en neuf

régions, indiquées dans la figure 3.35. Cela facilite la description de la position des organes et des structures qu'elle contient.

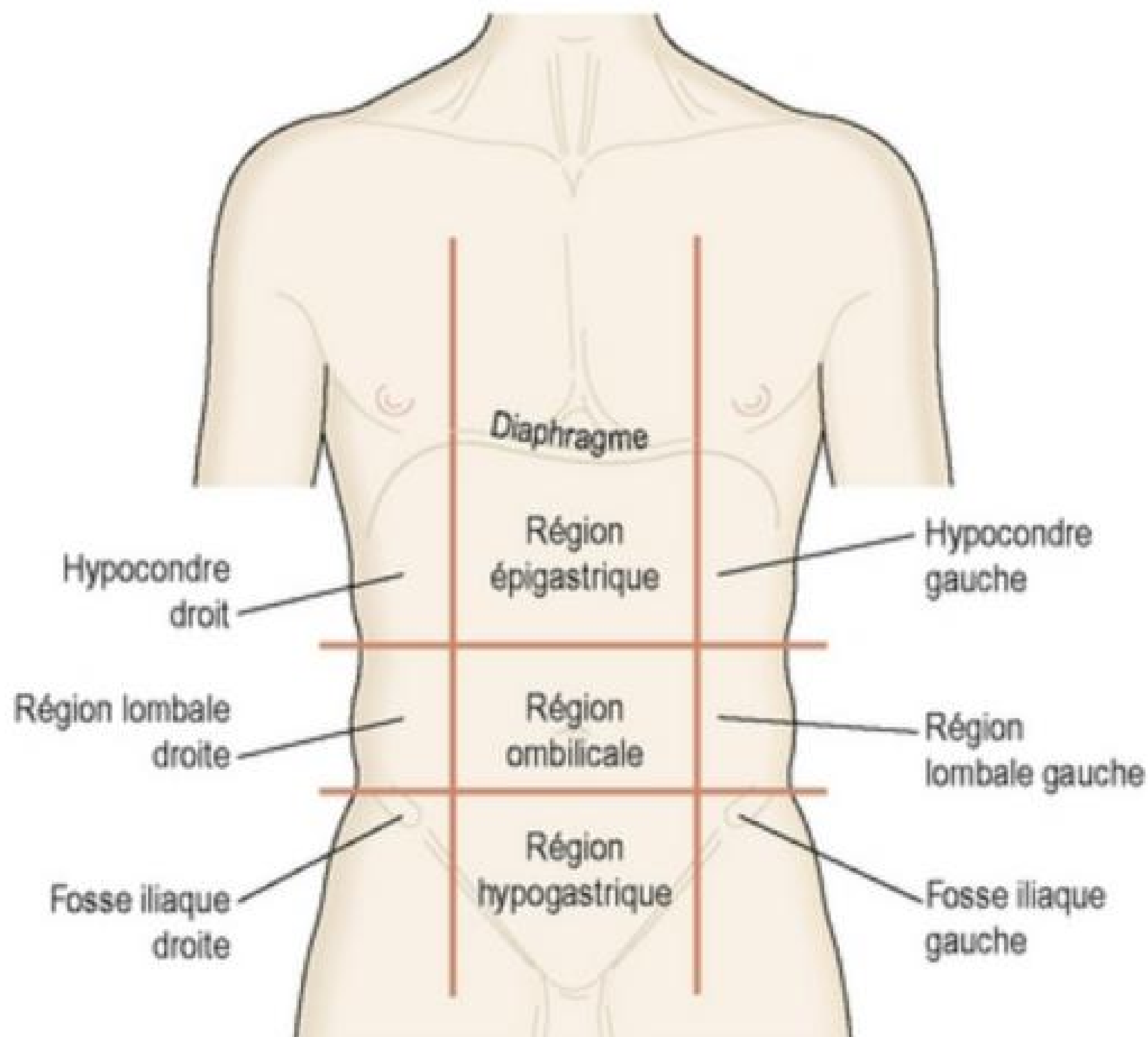


Figure 3.35 Régions de la cavité abdominale.

Contenu

La plus grande partie de la cavité abdominale est occupée par les organes et les glandes impliqués dans le système

digestif (Fig. 3.33 et 3.34). Ceux-ci sont :

• l'estomac, l'intestin grêle et la plus grande partie du gros intestin (côlon) ;

• le foie, la vésicule biliaire, les canaux biliaires et le pancréas.

D'autres structures comprennent :

• la rate ;

• 2 reins et la partie supérieure des uretères ;

• 2 glandes surrénales (suprarénales) ;

• de nombreux vaisseaux sanguins, vaisseaux lymphatiques, nerfs ;

• des nœuds lymphatiques.

Cavité pelvienne

La cavité pelvienne est grossièrement en forme d'entonnoir ; elle part de l'extrémité inférieure de la cavité abdominale (Fig. 3.36 et 3.37). Elle est limitée par :

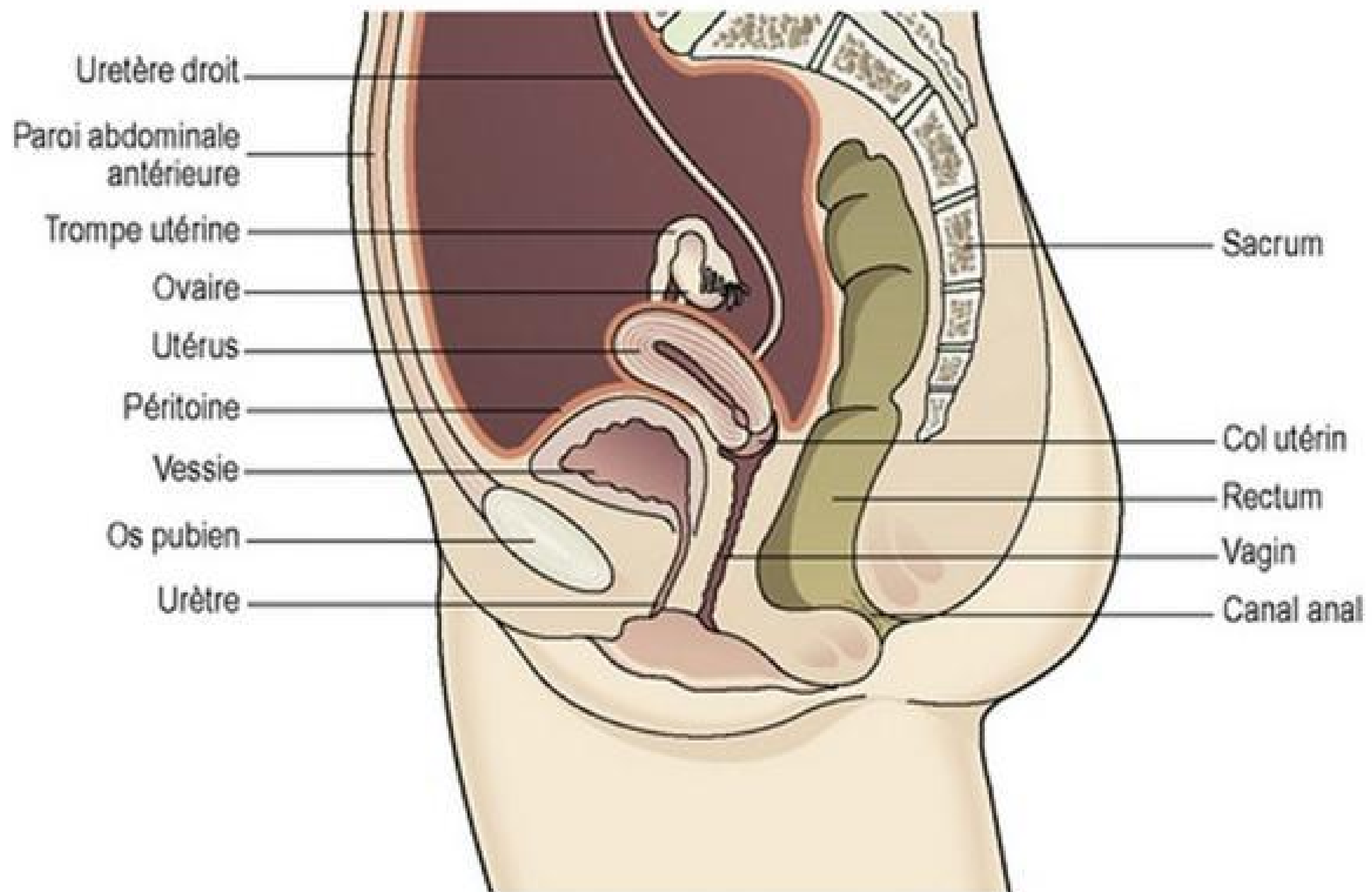


Figure 3.36 Organes reproducteurs féminins et autres structures dans la cavité pelvienne.

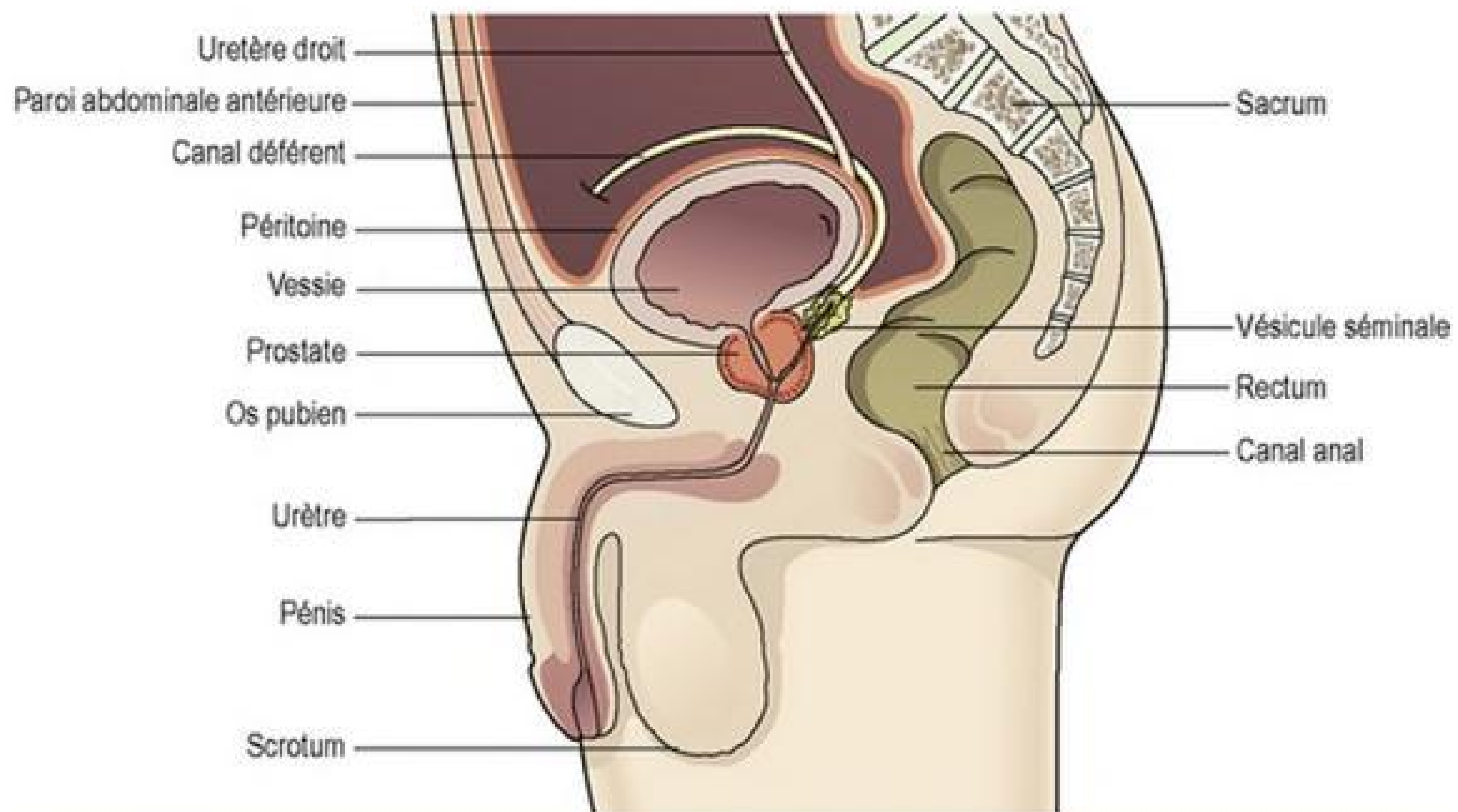


Figure 3.37 La cavité pelvienne et les organes reproducteurs masculins.

en haut	– la cavité abdominale ;
en avant	– les os pelviens ;
en arrière	– le sacrum et le coccyx ;
latéralement	– les os innominés (os iliaques) ;
en bas	– les muscles du plancher pelvien.

Contenu

La cavité pelvienne contient les structures suivantes :

- le côlon sigmoïde, le rectum et l'anus ;

• certaines anses de l’intestin grêle ;

• la vessie, la partie inférieure des uretères et l’urètre ;

• chez la femme, les organes du système de reproduction : l’utérus, les trompes utérines, les ovaires et le vagin (Fig. 3.36) ;

• chez l’homme, certains organes du système de reproduction : la prostate, les vésicules séminales, les cordons spermatiques, les canaux déférents (vas deferens), les canaux éjaculateurs et l’urètre (commun au système de reproduction et au système urinaire) (Fig. 3.37).

Affections des cellules et des tissus

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

■ de citer les principales causes des tumeurs ;

■ d’expliquer les expressions « bien différencié » et « mal différencié » ;

■ d’indiquer les causes de la mort dans les maladies malignes ;

■ de comparer et d’opposer les effets des tumeurs bénignes et

des tumeurs malignes.

Néoplasmes, ou tumeurs

Une tumeur ou *néoplasme* (littéralement, nouvelle croissance) est une masse de tissu qui croît plus vite que normalement et de manière incoordonnée, et qui continue à croître après l'arrêt du stimulus déclenchant.

Les tumeurs sont classées en bénignes et malignes, encore qu'une distinction nette ne soit pas toujours possible (voir tableau 3.2). Les tumeurs bénignes changent rarement de caractéristiques pour devenir malignes. Les tumeurs peuvent être classées en fonction de leur origine tissulaire. Par exemple, un *adénome* est une tumeur bénigne du tissu glandulaire, alors qu'un *adénocarcinome* est une tumeur maligne de tissu glandulaire ou bien de tissu sécrétoire épithélial. Les tumeurs malignes sont souvent nommées en fonction du tissu où elles ont pris forme ; par exemple, un *carcinome* s'origine dans du tissu épithélial, tandis qu'un *sarcome* provient de tissu conjonctif.

Tableau 3.2 Différences entre tumeurs bénigne et maligne

Bénigne	**Maligne**
Croissance lente	Croissance rapide

Cellules bien différenciées (ressemblant au tissu d'origine)	Cellules mal différenciées (pouvant ne pas ressembler au tissu d'origine)
Habituellement encapsulée	Non encapsulée
Ne diffuse pas (métastases)	S'étend (métastase) : – par infiltration locale – par voie lymphatique – par voie sanguine – par les cavités corporelles
Récidive rarement	Récidive fréquemment

Causes des néoplasmes

Certains facteurs sont connus pour déclencher les modifications cellulaires néoplasiques, mais les raisons de la multiplication cellulaire incontrôlée qu'ils déclenchent ne sont pas connues. Le processus de modification est appelé *carcinogenèse*, et les agents qui la déclenchent sont des *carcinogènes*. La carcinogenèse peut être d'origine génétique et/ou environnementale, mais une distinction nette entre les deux n'est pas toujours possible.

Carcinogènes

Les agents environnementaux connus déterminant des modifications malignes des cellules le font par une lésion

irréversible de l’ADN cellulaire. Il est impossible de préciser la dose de carcinogène ne faisant pas courir de risque. Une petite dose peut déclencher une modification, mais elle peut ne pas suffire à entraîner une tumeur maligne, sauf si des doses répétées pendant une période de temps limité ont un effet cumulatif. En outre, il existe une période de latence très variable entre l’exposition au carcinogène et la présence prouvée d’une tumeur maligne. Il peut y avoir aussi d’autres facteurs inconnus. Les carcinogènes environnementaux comprennent des produits chimiques, les radiations ionisantes et des virus oncogéniques.

Carcinogènes chimiques

Certains produits chimiques sont des carcinogènes quand ils sont absorbés ; d’autres sont modifiés après absorption, et deviennent alors des carcinogènes. Par exemple :

- les teintures d’aniline prédisposent au cancer de la vessie (p. 371) ;

- l’asbeste (amiante) est associé aux tumeurs malignes pleurales (mésothélium, p. 280) ;

- la fumée de cigarette constitue le principal facteur de risque du cancer du poumon (p. 280).

Radiations ionisantes

L’exposition à des radiations ionisantes, dont les rayons X, les isotopes radioactifs, les radiations environnementales et les rayons ultraviolets du soleil, peut entraîner des modifications malignes de certaines cellules, et en tuer d’autres. Les cellules sont atteintes durant la mitose, et celles présentant normalement une division contrôlée continue sont les plus exposées. Ces tissus labiles comprennent la peau, les muqueuses, la moelle osseuse, le tissu lymphoïde, les gamètes dans les ovaires et les testicules.

Virus oncogéniques

Certains virus peuvent entraîner des modifications cellulaires malignes chez les animaux, et il existe des données témoignant de phénomènes semblables chez les humains. Les virus pénètrent dans les cellules et incorporent leur ADN ou leur ARN dans le matériel génétique des cellules de l’hôte, ce qui entraîne la mutation. Les cellules mutantes peuvent être malignes. Les exemples incluent le virus de l’hépatite B, qui peut entraîner le cancer du foie (p. 348), et le papillomavirus humain, qui est associé au cancer du col de l’utérus (p. 482).

Facteurs de l’hôte

Des caractéristiques individuelles peuvent influencer la

susceptibilité aux tumeurs. Ils comprennent la race, l'alimentation, l'âge, l'obésité et des facteurs héréditaires (génétiques). Les tumeurs des tissus et organes individuels sont décrites dans les chapitres appropriés.

Croissance des tumeurs

Normalement, les cellules se divisent de façon ordonnée. Les cellules néoplasiques ont échappé aux contrôles normaux de la division cellulaire, et elles se multiplient de façon désordonnée et incontrôlée, formant une tumeur. Des vaisseaux sanguins croissent avec la prolifération cellulaire mais, dans certaines tumeurs malignes, l'apport sanguin ne va pas du même pas que la croissance tumorale, et une *ischémie* (défaut d'apport sanguin suffisant) entraîne la mort des cellules tumorales, appelée *nécrose*. Si la tumeur est proche de la surface du corps, cela peut entraîner une ulcération cutanée, porte d'entrée à l'infection. Les tissus plus profonds sont le siège d'une fibrose ; par exemple la rétractation du mamelon lors du cancer du sein est due à la rétractation du tissu fibreux dans une tumeur nécrotique. Les mécanismes contrôlant la durée de vie des cellules tumorales sont mal connus.

Différenciation cellulaire

La différenciation des cellules en des types cellulaires

spécialisés ayant des caractéristiques structurales et fonctionnelles particulières se produit à un stade précoce du développement fœtal ; par exemple, les cellules épithéliales développent des caractéristiques différentes de celles des lymphocytes. Plus tard, quand le remplacement des cellules se produit, les cellules filles ont le même aspect, les mêmes fonctions et la même constitution génétique que la cellule parentale. Dans les tumeurs bénignes, les cellules dont proviennent celles de la tumeur sont facilement reconnues ; c'est-à-dire que les cellules tumorales sont *bien différenciées*. Les tumeurs faites de cellules bien différenciées sont habituellement bénignes, mais certaines sont malignes. Les tumeurs malignes croissent au-delà des limites normales de l'organe ou du tissu atteint, et leurs cellules présentent un degré variable de différenciation :

• en cas de *dysplasielégère,* les cellules tumorales ont gardé la plupart de leurs caractères normaux, et il est habituellement possible d'identifier le type de leurs cellules parentales ;

• en cas d'*anaplasie*, les cellules tumorales ont perdu la plupart de leurs caractères normaux, et il n'est pas possible de reconnaître le type de leurs cellules parentales.

Encapsulation et extension des tumeurs

La plupart des tumeurs bénignes sont contenues dans une capsule fibreuse dérivant en partie des tissus avoisinants et en partie de la tumeur. Elles n'infiltrent pas les tissus voisins et ne s'étendent pas à d'autres parties du corps, même quand elles ne sont pas encapsulées.

Les tumeurs malignes ne sont pas encapsulées. Elles s'étendent localement par infiltration, et des fragments tumoraux peuvent atteindre par voie sanguine ou lymphatique d'autres parties du corps. Certaines cellules qui disséminent peuvent être phagocytées et détruites, mais d'autres se logent dans des tissus distants du site initial de la tumeur, et croissent en *tumeurs secondaires* (métastases). Les métastases sont souvent multiples ; le tableau 3.3 indique les sites fréquents des tumeurs primaires et leurs métastases.

Tableau 3.3 Siège des tumeurs primaires et de leurs métastases

Tumeur primaire	Tumeurs métastatiques
Bronche	Surrénales, cerveau
Tractus alimentaire	Structures abdominales et pelviennes, foie en particulier
Prostate	Os pelvien, vertèbres
Glande thyroïde	Os pelvien, vertèbres

Sein	Vertèbres, cerveau, os
Nombreux organes	Poumons

Extension locale

Les *tumeurs bénignes*, en croissant, peuvent déterminer des lésions des structures voisines par compression, mais ne se diffusent pas à d'autres parties du corps.

Les tumeurs bénignes ou malignes peuvent :

- léser des nerfs, entraînant des douleurs, une perte du contrôle nerveux d'autres tissus ou organes innervés par les nerfs endommagés ;

- comprimer des structures adjacentes, entraînant par exemple une ischémie (apport insuffisant de sang), une nécrose (mort du tissu), un blocage de canaux, le dysfonctionnement ou le déplacement d'un organe, une douleur par compression nerveuse.

En outre, les *tumeurs malignes* croissent dans les tissus avoisinants qu'elles infiltrent, et elles peuvent éroder des vaisseaux sanguins et lymphatiques, déterminant ainsi la dissémination de cellules tumorales dans d'autres parties du corps.

Extension aux cavités corporelles

Cette extension se produit quand une tumeur pénètre la paroi d'une cavité. La cavité péritonéale est celle le plus souvent atteinte. Si, par exemple, une tumeur maligne dans un organe abdominal pénètre le péritoine viscéral, des cellules tumorales peuvent métastaser à des replis péritonéaux, à tout organe abdominal ou pelvien. Là où la possibilité de mouvement des fragments tumoraux dans une cavité est moindre, la tumeur tend à réunir des couches tissulaires ; par exemple, une tumeur pleurale réunit les feuillets pariétal et viscéral de la plèvre, limitant l'expansion respiratoire du poumon.

Extension lymphatique

Cette extension se produit quand une tumeur maligne pénètre dans des vaisseaux lymphatiques. Des groupes de cellules tumorales se détachent, gagnent avec le courant lymphatique des nœuds lymphatiques, où elles se logent et où elles peuvent croître en tumeurs secondaires (NdT : métastases ganglionnaires, adénopathies malignes). De là, il peut se produire une nouvelle extension par le système lymphatique, ou vers la circulation sanguine, car la lymphe se draine finalement dans les veines subclavières.

Extension sanguine

Cette extension se produit quand les parois d'un vaisseau sanguin sont érodées par une tumeur maligne. Un

thrombus (caillot sanguin) peut se former à ce niveau, et des *emboles* faits de fragments de la tumeur et du caillot sanguin peuvent disséminer par le courant sanguin (embolies). Ces emboles bloquent de petits vaisseaux sanguins, déterminant des *infarctus* (NdT : territoires vasculaires où cesse la circulation, dont les tissus sont frappés de mort et éventuellement infarcis par du sang), et des tumeurs métastatiques se développent. La phagocytose des cellules tumorales d'un embole est improbable, car celles-ci sont protégées par le caillot sanguin. Des cellules tumorales isolées peuvent aussi se loger dans des capillaires d'autres organes. La division cellulaire dans les tumeurs secondaires, ou *métastases*, entraîne la croissance de ces tumeurs. Le siège des métastases par voie sanguine dépend du site de la tumeur d'origine (tumeur primaire) et de l'anatomie du système circulatoire régional. Les sièges les plus fréquents de ces métastases sont les os, les poumons, le cerveau et le foie.

Effets des tumeurs

Effets de compression

Des tumeurs tant bénignes que malignes peuvent comprimer et léser des structures adjacentes, en particulier si elles se développent dans un espace limité. Les effets dépendent du siège de la tumeur ; ils sont plus marqués

dans les régions ne laissant que peu d'espace à l'expansion tumorale, comme la cavité crânienne, la région osseuse sous le périoste, les sinus osseux et les voies respiratoires. La compression des structures adjacentes peut déterminer une ischémie, une nécrose, le blocage des conduits, un dysfonctionnement ou un déplacement d'organe, une douleur par compression nerveuse (douleur qui peut être due aussi à un envahissement nerveux).

Effets hormonaux

Des tumeurs de glandes endocrines peuvent sécréter des hormones, produisant les effets d'une hypersécrétion glandulaire. L'importance de la dysplasie cellulaire est un facteur important. Des tumeurs bénignes bien différenciées risquent plus de sécréter des hormones que des tumeurs malignes très dysplasiques. Des taux sanguins élevés d'hormones sont présents si la sécrétion tumorale se produit en l'absence du stimulus normal de sécrétion de l'hormone et du mécanisme de contrôle homéostasique de cette sécrétion. Certaines tumeurs malignes produisent des hormones non caractéristiques ; par exemple, certaines tumeurs des poumons produisent de l'insuline. Des glandes endocrines peuvent être détruites par des tumeurs envahissantes, entraînant un défaut de sécrétion hormonale.

Cachexie

Il s'agit d'une perte de poids sévère avec faiblesse progressive, perte de l'appétit, décharnement et anémie ; elle s'observe habituellement dans des cancers métastasiques avancés. Sa sévérité indique habituellement le stade de développement de la maladie. Son mécanisme n'est pas clair.

Causes de la mort lors de maladies malignes

Infection

Une infection aiguë est une cause fréquente de mort quand elle survient à un stade avancé d'une affection maligne. La prédisposition à l'infection est accrue par l'immobilisation ou l'alitement prolongé, et par la dépression du système immunitaire due à des médicaments cytotoxiques, à l'irradiation par des rayons X ou à des isotopes radioactifs utilisés comme traitement. Les infections les plus fréquentes sont les pneumonies, les septicémies, les péritonites et les pyélonéphrites.

Défaillance d'organe

Une tumeur peut détruire une quantité telle de l'organe où elle siège que l'organe ne peut plus fonctionner. Des lésions sévères d'organes vitaux, tels que les poumons, le

cerveau, le foie et les reins, sont des causes fréquentes de mort.

Carcinomatose

Des métastases diffuses avec cachexie entraînent des troubles fonctionnels et biochimiques sévères entraînant la mort.

Hémorragies

Les hémorragies peuvent survenir quand une tumeur infiltre et rompt la paroi d'une veine ou d'une artère. Elles siègent le plus souvent dans le tractus gastro-intestinal, le cerveau, le poumon et la cavité péritonéale.

Section 2
Communication

Chapitre 4

Sang

Le sang est un tissu conjonctif liquide. Il circule continuellement dans le corps, favorisant une communication constante entre des tissus distants l'un de l'autre. Il transporte :

• de l'oxygène des poumons aux tissus, et du dioxyde de carbone des tissus aux poumons qui l'excrètent ;

• des nutriments du tractus alimentaire aux tissus, et des déchets produits par les cellules jusqu'aux organes excréteurs, principalement les reins ;

• les hormones sécrétées par les glandes endocrines

jusqu'à leurs cibles, glandes ou tissus ;

• de la chaleur produite dans des tissus actifs vers des tissus moins actifs ;

• des substances protectrices, par exemple des anticorps, aux aires d'infection ;

• des facteurs de coagulation du sang, réduisant la perte de sang par des vaisseaux rompus.

Le sang est composé d'un liquide transparent jaune paille, le *plasma*, dans lequel différents types de cellules sont en suspension. Le plasma constitue normalement 55 % du volume sanguin. Les 45 % restants forment la fraction cellulaire du sang. Les deux fractions sanguines, les globules rouges et le plasma, peuvent être séparées par centrifugation ou par la gravité lorsqu'on laisse le sang au repos (Fig. 4.1A). Comme les cellules sont plus lourdes que le plasma, elles coulent au fond de tout échantillon.

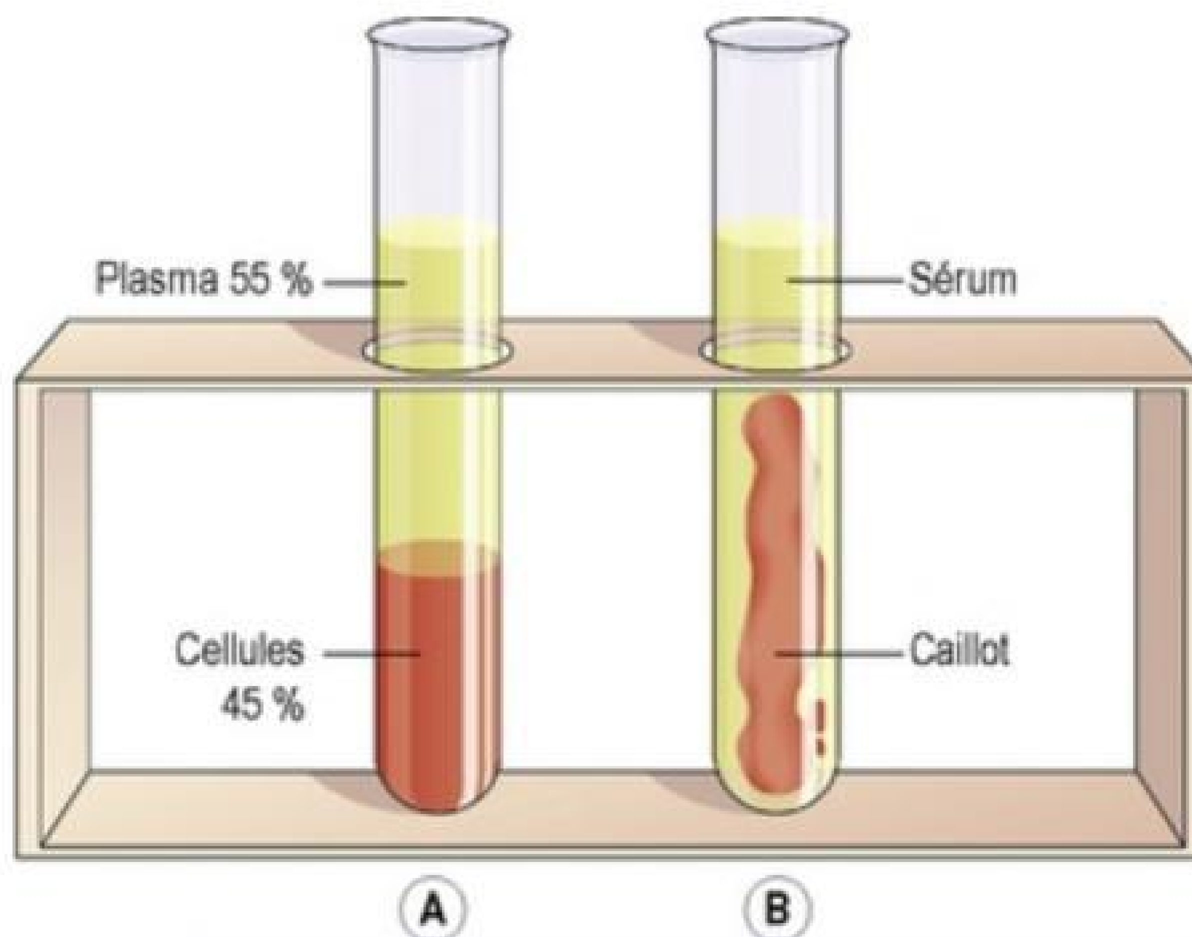


Figure 4.1 **A.** Les proportions de cellules du sang et de plasma, séparés par sédimentation. **B.** Caillot de sang dans du sérum.

Le sang représente jusqu'à environ 7 % du poids corporel (environ 5,6 litres chez un homme de 70 kg). Cette proportion est moindre chez la femme et considérablement plus grande chez l'enfant, baissant progressivement jusqu'à ce que le niveau de l'adulte soit atteint.

Dans les vaisseaux sanguins, le sang est toujours en mouvement en raison de l'action de pompe du cœur. Le flux continu maintient un environnement tout à fait constant aux cellules corporelles.

Le volume du sang et la concentration de beaucoup de ses composants sont maintenus dans d'étroites limites par des mécanismes homéostasiques.

La première partie du chapitre décrit la physiologie sanguine normale, et les sections suivantes portent sur certains troubles sanguins.

Plasma

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

- d'énumérer les constituants du plasma ;
- de décrire leurs fonctions.

Les constituants du plasma sont l'eau (90 à 92 %) et des substances dissoutes et en suspension dont :

- des protéines ;
- des sels inorganiques (sels minéraux) ;
- des nutriments, provenant principalement d'aliments digérés ;
- des déchets organiques ;

• des hormones ;

• des gaz.

Protéines plasmatiques

Les protéines plasmatiques, qui constituent jusqu'à 7 % du plasma, sont normalement retenues dans le sang car elles sont trop volumineuses pour s'échapper par les pores capillaires pour gagner les tissus. Elles sont largement responsables de la pression osmotique du sang (p. 84), qui retient le liquide plasmatique dans la circulation. Si le taux de protéines plasmatiques baisse en raison soit d'une chute de leur production, soit d'une perte par les vaisseaux sanguins, la pression osmotique baisse aussi, et du liquide passe dans les tissus (œdème) ainsi que dans les cavités corporelles.

La viscosité (épaisseur) du plasma est due aux protéines plasmatiques, principalement à l'albumine et au fibrinogène. À l'exception des immunoglobulines, les protéines plasmatiques sont générées dans le foie.

Albumines

Ce sont les protéines plasmatiques les plus abondantes (environ 60 % du total) et leur principale fonction est de maintenir normale la pression osmotique du plasma. L'albumine agit aussi comme molécule de transport des

acides gras libres, de certains médicaments et des hormones stéroïdiennes.

Globulines

Leurs principales fonctions sont :

- celle d'*anticorps* (immunoglobulines), protéines complexes produites par des lymphocytes, qui jouent un rôle important dans l'immunité. Ils se lient à des matériels étrangers (antigènes) tels que des micro-organismes, et les neutralisent (voir aussi p. 394) ;

- le transport de certaines hormones et de certains sels minéraux, par exemple, la TBG (*thyroxine binding globulin :* globuline liant la thyroxine) transporte la thyroxine ou T4 (NdT : et aussi une autre hormone thyroïdienne, la tri-iodothyronine ou T3), et la transferrine transporte le fer minéral ;

- l'inhibition de certaines enzymes protéolytiques, par exemple l'α_2-macroglobuline inhibe l'activité de la trypsine.

Facteurs de coagulation

Ce sont des substances qui permettent la coagulation du sang (p. 68). Le *sérum* est le plasma duquel les facteurs de coagulation ont été enlevés (Fig. 4.1B). Le facteur de

coagulation le plus abondant est le fibrinogène.

Électrolytes

Les électrolytes ont un grand nombre de fonctions, dont la contraction des muscles (par exemple Ca^{2+}), la transmission des influx nerveux (par exemple Ca^{2+} et Na^{+}), et le maintien de l'équilibre acidobasique (par exemple phosphate, $PO^{2}{}_{4}{}^{-}$). Le pH du sang est maintenu entre 7,35 et 7,45 (légèrement alcalin) par une série complexe d'activités chimiques, qui implique des systèmes tampons.

Nutriments

Les produits de la digestion, par exemple le glucose, les acides aminés, les acides gras et le glycérol, sont absorbés dans le tractus alimentaire. De même que les sels minéraux et les vitamines, les nutriments sont utilisés par les cellules corporelles pour l'énergie, la chaleur, la réparation et le remplacement, et pour la synthèse d'autres constituants du sang et des sécrétions corporelles.

Produits de déchet

L'urée, la créatinine et l'acide urique sont des produits de déchet du métabolisme des protéines. Ils sont synthétisés dans le foie, et transportés par le sang aux reins, pour être

excrétés.

Hormones (Ch. 9)

Ce sont des messagers chimiques synthétisés par les glandes endocrines. Les hormones passent directement des cellules endocrines au sang, qui les transporte à leurs cibles (tissus et organes) situés ailleurs dans le corps, où elles influencent l'activité cellulaire.

Gaz

L'oxygène, le dioxyde de carbone et l'azote sont transportés dans le corps dissous dans le plasma. L'oxygène et le dioxyde de carbone sont aussi transportés en combinaison avec l'hémoglobine et les globules rouges (p. 63). La plus grande partie de l'oxygène est transportée en combinaison avec l'hémoglobine, et la plus grande partie du dioxyde de carbone en tant qu'ions bicarbonate dissous dans le plasma (p. 269). L'azote atmosphérique pénètre dans l'organisme par les mêmes voies que les autres gaz ; il est présent dans le plasma, mais n'a pas de fonction physiologique.

Contenu cellulaire du sang

Objectifs pédagogiques

Après avoir étudié ce paragraphe, vous devriez être capable :

■ d’expliquer la structure, la fonction et la formation des hématies, y compris les systèmes utilisés en médecine pour classer leurs différents types ;

■ d’indiquer les fonctions et la formation des différents types de leucocytes ;

■ de décrire le rôle des plaquettes dans la coagulation du sang.

Il y a trois types de cellules du sang (voir Fig. 1.6, p. 8) :

- les érythrocytes (globules rouges, hématies) ;
- les plaquettes (thrombocytes) ;
- les leucocytes (globules blancs).

Les cellules du sang sont principalement synthétisées dans la moelle osseuse rouge. Certains lymphocytes sont également produits dans le tissu lymphoïde. Dans la moelle osseuse, les cellules du sang proviennent de *cellules souches pluripotentes* (c’est-à-dire capables de se développer en un ou plusieurs types de cellules), et elles passent par plusieurs stades de développement avant d’entrer dans le sang. Les différents types de cellules du sang suivent des lignes de développement séparées. Le processus de formation des cellules du sang est appelé *hématopoïèse*

(Fig. 4.2).

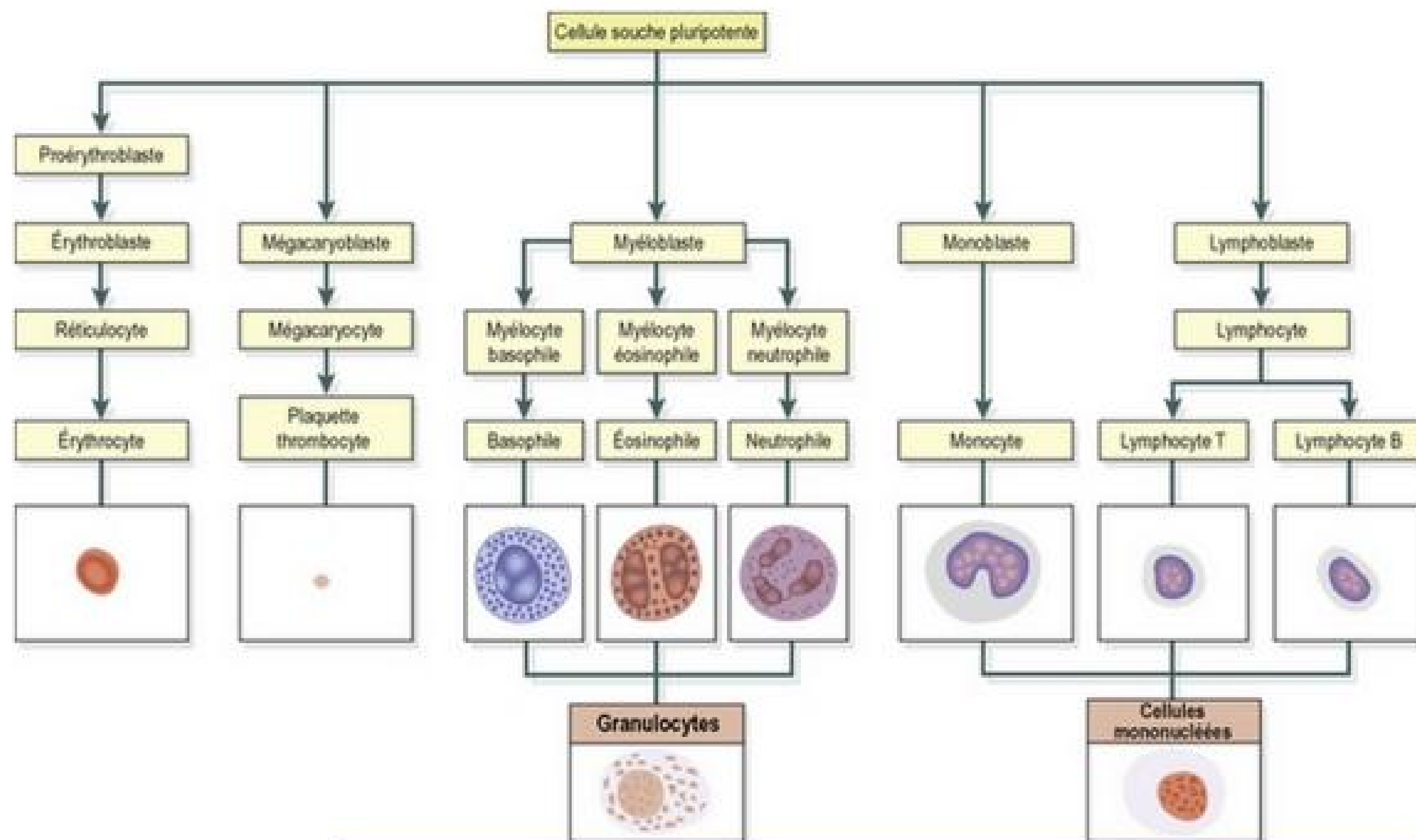
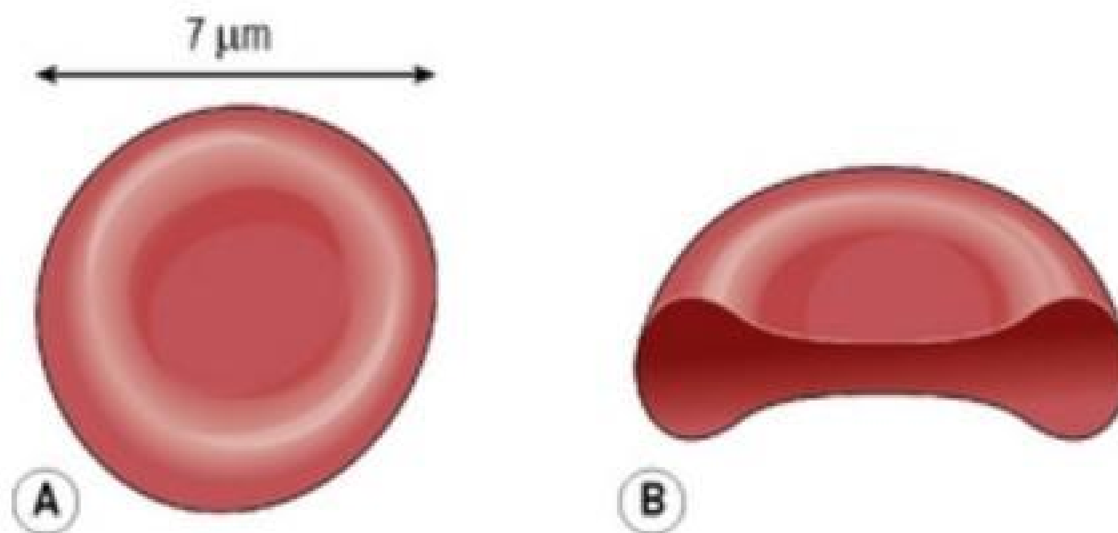


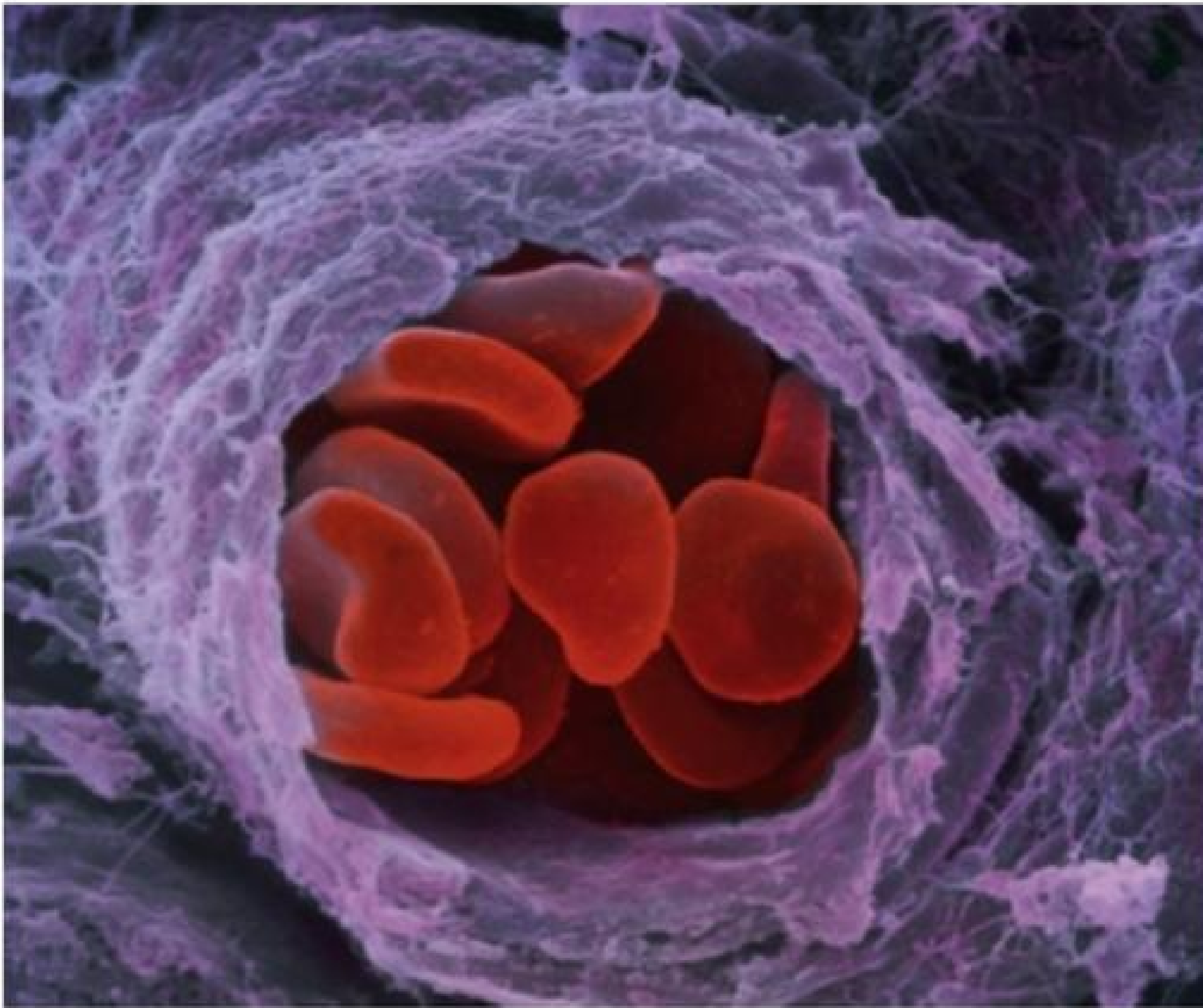
Figure 4.2 Hématopoïèse : stades du développement des cellules du sang.

Durant les premières années de la vie, la moelle rouge occupe la totalité de l'espace médullaire, mais dans les 20 années qui suivent, elle est progressivement remplacée par de la moelle jaune graisseuse, qui n'a pas de fonction hématopoïétique. Chez les adultes, l'hématopoïèse est confinée aux os plats, aux os irréguliers et aux membres (*épiphyses* des os longs), les sièges principaux étant le sternum, les côtes, le pelvis et le crâne.

Érythrocytes (globules rouges du sang, hématies)

Les globules rouges du sang sont des disques biconcaves non nucléés, d'environ 7 microns de diamètre. (Fig. 4.3). Leur principale fonction est le transport gazeux, essentiellement l'oxygène, mais ils transportent aussi du dioxyde de carbone. Leur forme caractéristique est appropriée pour leur fonction ; la biconcavité augmente leur surface pour l'échange gazeux, et la minceur de la partie centrale favorise l'entrée et la sortie rapides des gaz. Les cellules sont flexibles, de telle sorte qu'elles peuvent se glisser à travers les étroits capillaires, et elles ne contiennent pas d'organites intracellulaires, ce qui laisse davantage de place à l'hémoglobine, la volumineuse protéine pigmentée responsable du transport du gaz.





C

Figure 4.3 **A et B.** Le globule rouge. **C.** Microscopie à balayage électronique en couleur d'un groupe de globules rouges circulant le long d'une artériole.

La mesure du nombre de globules rouges, celle de leur volume et de leur teneur en hémoglobine sont des évaluations routinières et utiles en pratique clinique (Tableau 4.1). Les symboles entre parenthèses sont les abréviations habituellement utilisées dans les résultats du laboratoire.

Tableau 4.1 Érythrocytes – valeurs normales

Mesure	Valeurs normales
Taux d'érythrocytes – nombre d'érythrocytes par litre, ou millilitre cube (mm^3) de sang	Homme : 4,5 $\times 10^{12}$/l à 6,5 $\times 10^{12}$/l (4,5–6,5 millions/mm^3) Femme : 3,8 $\times 10^{12}$/l à 5,8 $\times 10^{12}$/l (3,8–5,8 millions/mm^3)
Hématocrite – volume de globules rouges dans 1 l ou mm^3 de sang	0,4–0,5 l/l
Volume globulaire moyen (VGM) – volume d'une cellule moyenne mesuré en femtolitres (1 fl = 10^{-15} l)	80 à 96 fl
Hémoglobine (Hb) – poids de l'hémoglobine dans le sang total, mesuré en grammes/100 ml de sang	Homme : 13–18 g/100 ml Femme : 11,5–16,5 g/100 ml

Teneur corpusculaire (globulaire) moyenne en hémoglobine (TCMH ou TGMH) – la quantité moyenne d'hémoglobine par cellule, mesurée en picogrammes (1 pg $= 10^{-12}$ gramme)	27–32 pg/cellule
Concentration corpusculaire (globulaire) moyenne en hémoglobine (CCMH ou CGMH) – le poids de l'hémoglobine dans 100 ml de globules rouges	30–35 g/100 ml de globules rouges

Durée de vie et fonction des érythrocytes

Les érythrocytes sont produits dans la moelle osseuse rouge, qui est présente aux extrémités des os longs, ainsi que dans les os plats et ceux irréguliers. Ils y passent par plusieurs stades de développement avant d'entrer dans le sang. Leur durée de vie dans la circulation est d'environ 120 jours.

Le processus de développement des globules rouges depuis les cellules souches prend environ 7 jours ; il est appelé *érythropoïèse* (Fig. 4.2). Les cellules immatures sont relâchées dans le flux sanguin sous forme de réticulocytes, puis deviennent matures au bout d'un jour ou deux dans la circulation et deviennent des érythrocytes. Durant cette période, elles perdent leur noyau et deviennent donc incapables de se diviser (Fig. 4.4).

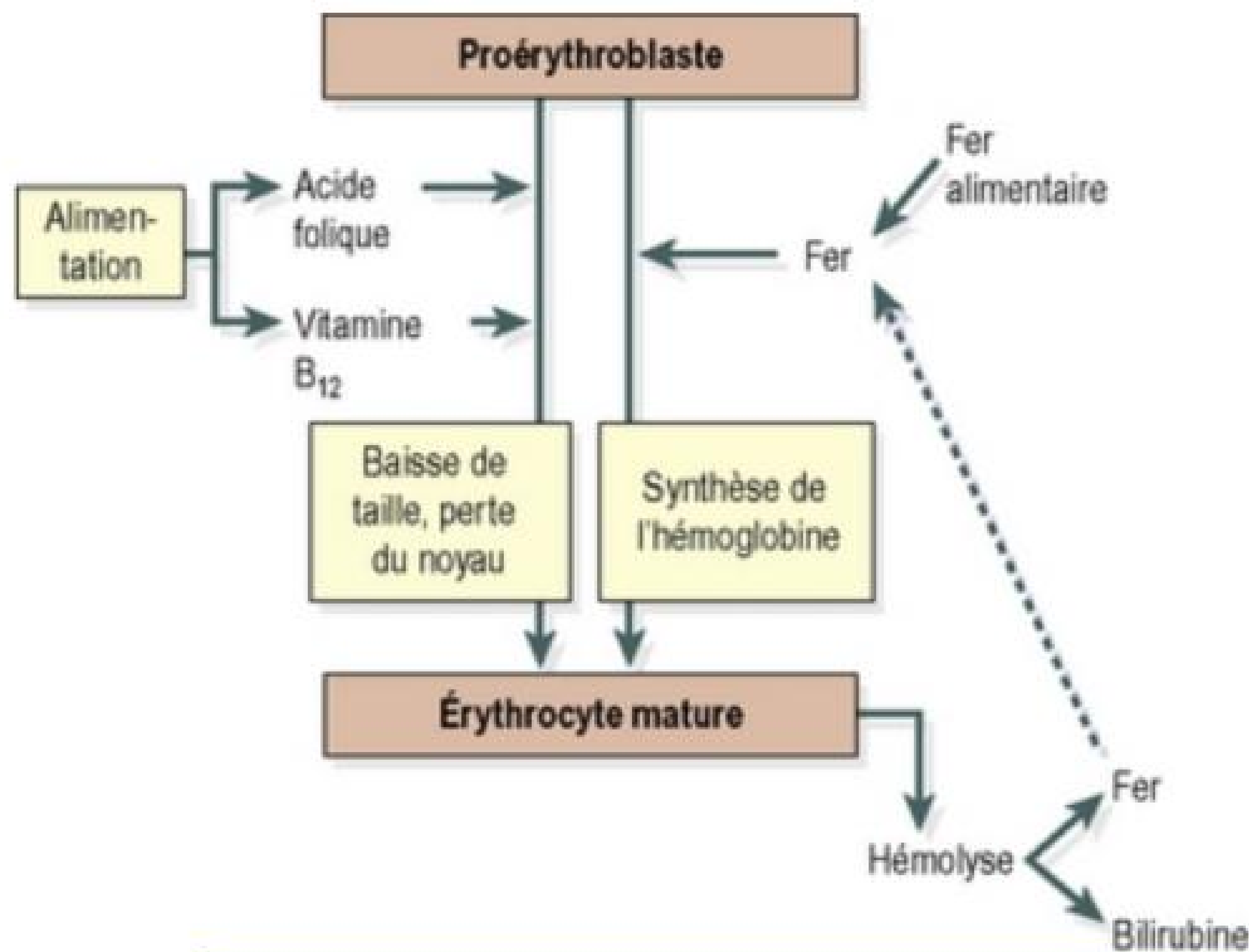


Figure 4.4 Maturation de l'érythrocyte.

La vitamine B_{12} et l'acide folique sont tous deux nécessaires pour la synthèse des globules rouges du sang. Ils sont absorbés dans les intestins, bien que la vitamine B_{12} doive être liée à un facteur intrinsèque (p. 311), afin que l'absorption puisse intervenir. Les deux vitamines sont présentes dans les produits laitiers, la viande et les légumes verts. Le foie contient habituellement de bonnes réserves de vitamine B_{12}, qui seront utiles pendant plusieurs années, mais des signes d'insuffisance en acide folique apparaissent en quelques mois.

Hémoglobine

Z